



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON  
CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB  
BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. ALEX YONY ROQUE APAZA**

**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**  
**MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON**  
**CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB**  
**BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024**

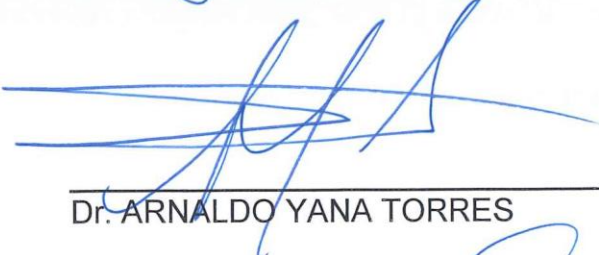
TESIS PRESENTADA POR:


**Bach. ALEX YONY ROQUE APAZA**


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

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

**PRESIDENTE** :   
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

**PRIMER MIEMBRO** :   
Dr. ARNALDO YANA TORRES

**SEGUNDO MIEMBRO** :   
Mgr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS

**ASESOR DE TESIS** :   
Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** : TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

20



**UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1329-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 21 de octubre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024- 14744 presentado por el (la) Bachiller: **ALEX YONY ROQUE APAZA** 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. **ALEX YONY ROQUE APAZA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBON PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

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

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

**RESUELVE:**

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

- \* **Presidente** : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
- \* **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- \* **2do Miembro** : Mgr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS

**ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER** como asesor de la propuesta de investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr.. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA**.

**ARTICULO TERCERO . - APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **ALEX YONY ROQUE APAZA**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBON PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : Viernes 25 de octubre del 2024
- \* **HORA** : 10:00 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.



**Dr. JETHON QUESPE HUANCA**  
**DECANO**  
CIP. 47790



**Dr. Elmarcello Sasa**  
**DIRECTOR**  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 819-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 16 de agosto del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU - 8875 por el señor (a): **ALEX YONY ROQUE APAZA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 699 - 2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 148 - 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): **ALEX YONY ROQUE APAZA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBON PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 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° 148 - 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBON PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 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): **ALEX YONY ROQUE APAZA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBON PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA**.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURAS

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790



Dr. Efraim Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 180-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 18 de abril del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU-04461, presentado por el señor (a) **ALEX YONY ROQUE APAZA** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el PROVEIDO - N° 193-2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 71 -2024 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) estudiante: **ALEX YONY ROQUE APAZA** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBON PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 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° 71 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBON PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024**.

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

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

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el o (la) Bachiller: **ALEX YONY ROQUE APAZA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBON PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 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 **Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA**.

**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. MILTHON QUISEP HUANCA  
DECANO  
CIP. 47730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
OFICINA DE INVESTIGACIÓN  
Dr. Edwin Perillo Sosa  
DIRECTOR  
OFICINA DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo 2024  
Interesado (a)



## MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024

### INFORME DE ORIGINALIDAD

24%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

15%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	12%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	3%
4	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	ciencia.lasalle.edu.co Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Nacional de Piura Trabajo del estudiante	<1%




### Metadatos complementarios - UANCV



TITULO	
<b>MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024</b>	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y Apellidos	ALEX YONY ROQUE APAZA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73818558
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0001-4916-6015">https://orcid.org/0009-0001-4916-6015</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02371550
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0005-6613-6925">https://orcid.org/0009-0005-6613-6925</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres Y Apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres Y Apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres Y Apellidos	HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01316765



<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><b>Dirección:</b> Juliaca  <b>País:</b> Perú  <b>Departamento:</b> Puno  <b>Provincia:</b> San Román  <b>Distrito:</b> Juliaca  <b>Coordenadas:</b>  <b>Latitud:</b> -15.49973  <b>Longitud:</b> -70.12845  <a href="https://maps.app.goo.gl/8toybMCh8uaVUoKR6">https://maps.app.goo.gl/8toybMCh8uaVUoKR6</a></p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	ABRIL 2024 - OCTUBRE 2024
URL de disciplinas OCDE	<p>Ingeniería civil  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00</a>  Ingeniería de la construcción  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</a></p>
<a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> - Librería	

UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CERVEN VELAZQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PUNAS  
DIRECTOR  
Dr. Efraín Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo ALEX YONY ROQUE APAZA, identificado con DNI Nro. 73818558 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:

MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024

Asesorado por: Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

Es un tema original.

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

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

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

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

Juliaca 31 de Diciembre del 2024

FIRMA (ASESOR)

FIRMA (obligatoria)



Huella



### **DEDICATORIA**

A Dios por ser mi guía en el proceso de mi vida profesional. A mis padres por todo su esfuerzo y apoyo económico. A mis hermanos por su cariño.



## **AGRADECIMIENTO**

A los docentes de la escuela profesional de ingeniería civil que compartieron sus conocimientos. A mi asesor por su paciencia y dedicación.



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	ix
INTRODUCCIÓN .....	x

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la situación problemática .....	1
1.2. Formulación del planteamiento del problema .....	2
1.2.1. Pregunta general.....	2
1.2.2. Preguntas específicas.....	2
1.3. Justificación de la investigación .....	2
1.3.1. Justificación teórica .....	3
1.3.2. Justificación práctica .....	3
1.3.3. Justificación metodológica .....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general .....	4
1.4.2. Objetivos específicos .....	4
1.5. Importancia y alcance de la investigación .....	4
1.6. Limitaciones y delimitaciones de la investigación.....	5
1.7. Hipótesis.....	5
1.7.1. Hipótesis general.....	5



1.7.2. Hipótesis específicas.....	5
1.8. Variables e indicadores .....	6
1.8.1. Conceptualización de variables .....	6
1.8.2. Operacionalización de las variables .....	6

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio.....	8
2.1.1. A nivel internacional .....	8
2.1.2. A nivel nacional .....	10
2.2. Bases teóricas.....	12
2.2.1. Mejoramiento de material granular .....	12
2.2.2. Base granular .....	20
2.2.3. Base estabilizada .....	21
2.2.4. Cenizas de carbón .....	21
2.3. Marco conceptual .....	22

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoques del estudio.....	23
3.2. Métodos aplicados en el estudio.....	24
3.3. Tipos del estudio .....	24
3.4. Niveles del estudio .....	25
3.5. Diseños del estudio .....	26
3.6. Poblaciones y muestras .....	26
3.6.1. Unidades de observación.....	27
3.6.2. Muestra.....	28
3.7. Técnica e instrumento de recolección de datos.....	29
3.7.1. Técnica del estudio .....	29



3.7.2. Instrumento del estudio .....	30
3.8. Validación y confiabilidades de instrumentos .....	31
3.8.1. Validaciones del instrumento .....	31
3.8.2. Confiabilidades del instrumento .....	31
3.9. Diseños de las estrategias para las pruebas de hipótesis.....	32
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
4.1. Presentación, análisis e interpretación de los datos.....	35
4.1.1. Encontrar las propiedades físicas y mecánicas del material granular sin cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024 .	35
4.1.2. Determinar las propiedades físicas y mecánicas del material granular con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024 .	38
4.1.3. Comparar las propiedades físicas y mecánicas del material granular sin y con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024.....	43
4.2. Discusión de resultados .....	45
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>48</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>50</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>52</b>

## **ANEXOS**

### **Anexo 01. Matriz de consistencia**

### **Anexo 04. Fichas de evidencias del proceso de recolección de datos**



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Cuadro de operacionalización de variables. ....	6
<b>Tabla 2.</b> Propiedades físicas del material granular .....	35
<b>Tabla 3.</b> Propiedades mecánicas del material granular.....	37
<b>Tabla 4.</b> Propiedades mecánicas del material granular con 10% de ceniza de carbón.....	38
<b>Tabla 5.</b> Propiedades mecánicas del material granular con 20% de ceniza de carbón.....	40
<b>Tabla 6.</b> Propiedades mecánicas del material granular con 30% de ceniza de carbón.....	41
<b>Tabla 7.</b> Comparación de las propiedades mecánicas del suelo.....	43



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sistema de clasificación por AASHTO. ....	14
<b>Figura 2.</b> Diagrama de propiedades mecánicas del material granular.....	37
<b>Figura 3.</b> Diagrama de propiedades mecánicas del material granular con 10% de ceniza de carbón .....	39
<b>Figura 4.</b> Diagrama de propiedades mecánicas del material granular con 20% de ceniza de carbón.....	40
<b>Figura 5.</b> Diagrama de propiedades mecánicas del material granular con 30% de ceniza de carbón .....	42
<b>Figura 6.</b> Comparación de las propiedades mecánicas del suelo.....	43



## RESUMEN

En la exploración se tiene como el propósito general, Determinar el mejoramiento del material granular con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024. En la cual se empleó como metodología de exploración, Enfoque de la exploración, Cuantitativo, Método de la exploración, Inductivo, Tipo de la exploración Aplicada, Nivel de la exploración, Descriptiva – correlacional, Diseño de la exploración, Experimental, Población, Materiales granulares de sub base. Muestra, 4 ensayos de CBR. Como los resultados se presenta que las propiedades mecánicas cruciales para su estabilidad y capacidad de carga. La máxima densidad seca varía entre 2.16 y 2.17 g/cm<sup>3</sup>, alcanzable mediante compactación en condiciones controladas. Los contenidos de humedad óptima oscilan entre 7.25% y 7.38%, necesarios para lograr esta densidad. El California Bearing Ratio (CBR), una medida estándar de la capacidad de soporte del suelo, muestra valores significativos: entre 58.9% y 62.10% a una penetración del 100%, y entre 44.0% y 47.50% a una penetración del 95%, indicando buena resistencia y capacidad de soporte bajo diversas condiciones. La exploración sobre el mejoramiento de material granular con ceniza de carbón para su uso en la subbase de pavimentación en Juliaca 2024 finalmente finaliza señalando que los hallazgos han sido alentadores. La ceniza de carbón mejora la estabilidad y la capacidad de carga del suelo al aumentar la densidad seca máxima del suelo.

**Palabras claves.** Sub base, material, granular, densidad.



## ABSTRACT

The general purpose of the exploration is to determine the improvement of the granular material with coal ash for use in the subbase of pavements, Juliaca 2024. In which the exploration methodology, Exploration Approach, Quantitative, Method was used. of exploration, Inductive, Type of exploration Applied, Level of exploration, Descriptive – correlational, Design of exploration, Experimental, Population, Granular sub-base materials. Sample, 4 CBR tests. As the results are presented, the mechanical properties are crucial for its stability and load capacity. The maximum dry density varies between 2.16 and 2.17 g/cm<sup>3</sup>, achievable by compaction under controlled conditions. Optimal moisture contents range between 7.25% and 7.38%, necessary to achieve this density. The California Bearing Ratio (CBR), a standard measure of soil bearing capacity, shows significant values: between 58.9% and 62.10% at 100% penetration, and between 44.0% and 47.50% at 95% penetration. indicating good resistance and bearing capacity under various conditions. The exploration into upgrading granular material with coal ash for use in the paving subbase at Juliaca 2024 finally concludes noting that the findings have been encouraging. Coal ash improves soil stability and bearing capacity by increasing the maximum dry density of the soil.

**Keywords.** Sub base, material, granular, density.



## INTRODUCCIÓN

La optimización de las cualidades de los materiales utilizados para fabricar pavimentos es una de las principales cuestiones en el esfuerzo actual por mejorar la infraestructura vial. Para garantizar la longevidad y la integridad estructural de las calzadas, los materiales granulares son especialmente importantes en la subbase de los pavimentos. Sin embargo, podría haber diferencias significativas en la calidad y disponibilidad de estos materiales, por lo que es importante explorar alternativas que permitan mejorar.

Una alternativa viable que puede mejorar las propiedades mecánicas y físicas es el uso de cenizas de carbón, un subproducto de la quema de carbón en las centrales eléctricas de los materiales granulares. El aprovechamiento de cenizas de carbón en Juliaca, ciudad de la zona de Puno en Perú, es el tema principal de esta investigación. Debido a sus características geográficas y climáticas únicas, que impactan la calidad de los componentes locales accesibles para la edificación de pavimentaciones, Juliaca enfrenta obstáculos únicos.

La finalidad principal de esta exploración es analizar cómo el uso de cenizas de carbón ha mejorado el material granular destinado a ser utilizado como subbase de pavimentaciones en Juliaca. Se prevé que la incorporación de cenizas de carbón mejorará la resistencia y durabilidad del material granular y, al mismo tiempo, proporcionará una solución sostenible al reutilizar un subproducto industrial y minimizar su efecto ambiental.



En este caso, se realizarán una serie de exámenes y análisis para determinar las características mejoradas del material granular que ha sido tratado con cenizas de carbón. Los hallazgos del estudio pueden proporcionar una base científica sólida para el uso de este método en proyectos de infraestructura vial en Juliaca y otras áreas con circunstancias comparables, mejorando tanto la sostenibilidad del medio ambiente como la calidad de las carreteras.

El proyecto, que se espera que esté terminado en 2024, tiene el potencial de cambiar completamente los métodos de construcción de pavimentaciones de Juliaca al proporcionar una respuesta creativa y sostenible lo que lleva a uno de los problemas más difíciles en el campo de la ingeniería civil.

Como tal, esta exploración está organizado en 4 capítulos principales.

CAPITULO I. se plantea y expone la situación problemática, justificaciones, objetivos, y las hipótesis de la exploración.

CAPITULO II. El capítulo contiene de los antecedentes internacionales y nacionales, así mismo se redacta las bases teóricas.

CAPITULO III. En este capítulo se redacta la metodología que se empleó durante el proceso de exploración.

CAPITULO IV. En este capítulo se expone los hallazgos finales de la exploración.



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Exposición de la situación problemática

Conseguir materiales granulares de primera calidad en Colombia para construir sistemas de pavimentos flexibles es una tarea difícil. En ocasiones, el ingeniero de carreteras puede tener que lidiar con materiales toscos que no cumplen con los criterios mínimos de calidad establecidos en la especificación de carreteras correspondiente. La tarea del ingeniero en este caso es intentar mejorar las propiedades del material mediante medios mecánicos o químicos. (Rodríguez & Rondón, 2016).

Dado que los suelos son el componente fundamental de todo el desarrollo de caminos y otra infraestructura civil, ya que la mayor parte del territorio del Perú está formado por suelos inestables que presentan importantes obstáculos para la construcción. Estos suelos de mala calidad provocan inestabilidad y distintas fallas en la pavimentación. (Alvarez, 2021).

Existen muchas fuentes diferentes de agregados pétreos, ya que abundan en la naturaleza. Como resultado, no todos cumplen con los requisitos necesarios para construir una estructura vial debido a su pobre desempeño.

Resistencia a la carga de un vehículo en el tráfico. Estas primeras pruebas forman la base de la prueba de abrasión de San Antonio. A los vehículos les resulta imposible soportar el incumplimiento de la normativa por parte de Los Ángeles. (Caceres, 2022).

## **1.2. Formulación del planteamiento del problema**

### **1.2.1. Pregunta general**

¿Cuánto es el mejoramiento del material granular con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024?

### **1.2.2. Preguntas específicas**

1. ¿Cuánto son las propiedades físicas y mecánicas del material granular para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024?
2. ¿Cuánto son las propiedades físicas y mecánicas del material granular con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024?
3. ¿Cuánto mejora las propiedades físicas y mecánicas del material granular con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024?

## **1.3. Justificación de la investigación**

La exploración evalúa si añadir cenizas de carbón a los componentes granulares de la pavimentación puede mejorar sus cualidades. Mejora la robustez y resistencia de las carreteras cercanas, maximiza los recursos accesibles, fomenta la sostenibilidad ecológica mediante el reciclaje de residuos industriales y reduce los gastos de construcción. Este método creativo, adaptado a las circunstancias únicas de Juliaca, puede funcionar como prototipo para otras



áreas, fomentando métodos de infraestructura vial eficaces y respetuosos con el medio ambiente.

### **1.3.1. Justificación teórica**

Con base en una serie de consideraciones teóricas y prácticas, la ceniza de carbón se utilizará en 2024 para potenciar el material granular que se utilizará como subbase de pavimentaciones en Juliaca. Esta es una nueva tecnología. A continuación, se proporciona una explicación teórica detallada:

### **1.3.2. Justificación práctica**

Debido a que la ceniza de carbón está disponible localmente, se puede utilizar para mejorar el material granular para pavimentaciones en Juliaca en 2024. También tiene la ventaja de ser más rentable, mejorar la estabilidad del pavimento, adaptarse a las condiciones del terreno y tener un impacto positivo en tanto la economía local como la infraestructura vial. Estos elementos fomentan su uso como respuesta útil y práctica a las demandas de pavimentación de la zona.

### **1.3.3. Justificación metodológica**

La aplicación de un enfoque estricto y científico que abarca desde la caracterización de los materiales hasta la evaluación continua del desempeño de las pavimentaciones, sirve como base metodológica para el uso de cenizas de carbón en el año 2024 para optimizar el material granular de las pavimentaciones de Juliaca. construido. Este método garantiza que la metodología utilizada sea sostenible, duradera y eficaz.



## 1.4. Objetivos

### 1.4.1. Objetivo general

Determinar el mejoramiento del material granular con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024

### 1.4.2. Objetivos específicos

1. Encontrar las propiedades físicas y mecánicas del material granular sin cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024
2. Determinar las propiedades físicas y mecánicas del material granular con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024
3. Comparar las propiedades físicas y mecánicas del material granular sin y con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024

## 1.5. Importancia y alcance de la investigación

Debido a que la ceniza de carbón tiene el potencial de fortalecer la durabilidad y resiliencia de los pavimentos y al mismo tiempo minimizar los costos y el mantenimiento, la exploración para optimizar el material granular para la subbase de las pavimentaciones en Juliaca 2024 es esencial. Además, fomenta la sostenibilidad reduciendo la explotación de nuevos recursos y reciclando residuos industriales. Su alcance incluye evaluaciones de campo y pruebas de laboratorio, recolección, caracterización y optimización de mezclas



de materiales, así como el desarrollo de una técnica que pueda usarse tanto localmente como en otras áreas con circunstancias comparables.

## 1.6. Limitaciones y delimitaciones de la investigación

**Delimitación del tema:** mejoramiento de material granular que se emplea en la sub base de pavimentos.

**Delimitación temporal:** la exploración se elabora en el año 2024.

**Delimitación espacial:** la exploración n está enfocado en las canteras del rio isla y del cerro Taparachi.

## 1.7. Hipótesis

### 1.7.1. Hipótesis general

El material granular mejorara positivamente en con dosificaciones de cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024.

### 1.7.2. Hipótesis específicas

1. La propiedades físicas y mecánicas del material granular son mínimos sin cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024
2. La propiedades físicas y mecánicas del material granular son superiores con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024
3. Las propiedades físicas y mecánicas del material granular mejoro de forma positiva con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024

## 1.8. Variables e indicadores

### 1.8.1. Conceptualización de variables

**VI. Mejoramiento de material granular:** Se están realizando investigaciones sobre las cenizas de carbón porque pueden usarse para estabilizar y fortalecer las subbases de pavimento, lo que aumenta la eficiencia y la sostenibilidad del proyecto. También se puede utilizar para mejorar las cualidades mecánicas del suelo. infraestructura.

**VD. Cenizas de carbón:** La práctica de maximizar las particularidades mecánicas y físicas de los suelos y agregados utilizados en la construcción, particularmente en la instalación de subbases y bases de pavimentos, se conoce como "mejora de materiales granulares". Este procedimiento tiene como finalidad optimizar la estabilidad, tenacidad y contenido de carga del material granular, lo que mejorará la funcionalidad y vida útil de otras construcciones e infraestructuras viarias.

### 1.8.2. Operacionalización de las variables

**Tabla 1.**

*Tabla de operacionalización de variables.*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b> Cenizas de carbón	Se están realizando investigaciones sobre las cenizas de carbón porque pueden usarse para estabilizar y fortalecer las subbases de pavimento, lo que aumenta la eficiencia y la	La variable dependiente de cenizas de carbón, se operacionaliza por la dimensión (Dosificación de cenizas), y indicadores, 10% de cenizas de carbón, 20%	Dosificación de cenizas.	10% de cenizas de carbón. 20% de cenizas de carbón. 30% de cenizas de carbón.	RAZÓN N



<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE E.</b> <b>Mejoramiento de material granular</b></p>	<p>sostenibilidad del proyecto. También se puede utilizar para mejorar las particularidades mecánicas del suelo. infraestructura. La práctica de maximizar las particularidades mecánicas y físicas de los suelos y agregados utilizados en la construcción, particularmente en la instalación de subbases y bases de pavimentos, se conoce como "mejora de materiales granulares". Este procedimiento tiene como objetivo mejorar la estabilidad, tenacidad y capacidad de carga del material granular, lo que mejorará la funcionalidad y vida útil de otras construcciones e infraestructuras viarias.</p>	<p>de cenizas de carbón y 30% de cenizas de carbón.</p> <p>La variable independiente, e, mejoramiento de material granular, se operacionaliza con dimensiones, Propiedades físicas y Propiedades mecánicas</p>	<p>Propiedades físicas</p> <p>Propiedades mecánicas</p>	<p>Clasificación por AASHTO</p> <p>Contenido de humedad</p> <p>Limite liquido</p> <p>Limite plástico</p> <p>Índice de plasticidad</p> <p>Máxima densidad seca</p> <p>Contenido de humedad optima</p> <p>C.B.R. 01 al 100%</p> <p>C.B.R. 01 al 95%</p>	<p>RAZÓN N</p>
--	---	--	---	---	----------------

*Nota.* Elaborado por el autor.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del estudio

##### 2.1.1. A nivel internacional

(Garzón, 2019), mediante el cual utilizo el diseño experimental a nivel explicativo y técnica de exploración aplicada. Luego de considerar los hallazgos de categorización y particularización física, se concluyó que el suelo es de grava bien graduada, sin limitación líquida ni plástica y con características geomecánicas que incluyen humedad óptima de 7.7%, densidad seca de 2.1 gr/cm<sup>3</sup>, materia orgánica de 0.29%, y una CBR del 78%. De igual forma, la proporción ideal para la combinación tierra, ceniza vegetal y cal fue 1:4 (Cal:Ceniza), con proporciones de 2,25% y 10%, respectivamente, y una densidad seca de 2.064 gr/cm<sup>3</sup>.

(Espinosa, 2019), al planificar la construcción de pavimentos, se consideran esenciales el comportamiento y las particularidades del suelo natural con respecto al que se va a construir un tipo particular de estructura vial. Lo anterior, pues la subrasante juega un papel fundamental a la hora de establecer la duración de una construcción. Más precisamente, este estudio crea un análisis comparativo entre un aditivo alternativo y un aditivo ampliamente utilizado: la cal.



Con base en la prueba de consolidación, estos componentes se evalúan físicamente y se agregan en porcentajes de 10%, 20% y 40% al suelo arcilloso. Además, se realizan pruebas de corte directo y compresión libre para conocer las características mecánicas de cada combinación. Según los resultados, la adición de cenizas de carbón o de cal mejora el comportamiento mecánico del caolín y las cenizas resultan ser el método de estabilización más rentable en términos de resistencia.

(Barragan & Cuervo, 2019), esta exploración experimental tiene como finalidad examinar los elementos físico-mecánicos involucrados con la resistencia de una pavimentación con el fin de desarrollar una opción de estabilización para abordar la baja resistencia observada en suelos blandos usados para mantener la estructura de un pavimento. La adición del 1% de ceniza de cáscara de arroz (CCA) al suelo de pavimentación arenosa arcillosa produjo hallazgos diferentes a los del mismo suelo dejado en su forma natural. Debido a que es un desperdicio agroindustrial muy común en el país y puede eliminarse de manera barata y de mala calidad, se consideró la cáscara de arroz, lo que ayuda a disminuir los problemas ambientales que causa. Para la realización de la actual exploración, se tuvo en cuenta los lineamientos para el desarrollo de laboratorios del INVIAS-13, la cual se llevó a cabo utilizando una metodología experimental y aplicada con un enfoque cuantitativo. Las pruebas que se realizaron incluyeron las siguientes: Granulometría obtenida mediante cribado del suelo natural, Atterberg o limitaciones de consistencia. Se ajustó la prueba de compactación, capacidad de soporte (CBR). La resiliencia del suelo arcilloso arenoso mejoró significativamente con la adición de 1% de CCA, lo que

resultó en un incremento del 19% en la capacidad de carga con respecto a la condición inicial.

### 2.1.2. A nivel nacional

(Longa & Sánchez , 2021), esta exploración usó un diseño cuasiexperimental con enfoque cuantitativo. Se recolectaron dos muestras de suelo de dos pozos excavados en diferentes lugares, que incluían todo el subsuelo de la habitación humana de Ciudad del Niño. La técnica de observación y la instrumentación fueron las fichas de caracterización de suelos elaboradas por el laboratorio de mecánica de suelos. Las principales conclusiones incluyeron lo siguiente: las muestras de suelo que se analizaron sin la adición de ceniza fueron categorizadas como SP-SM por SUCS; tampoco mostraron signos de plasticidad, con valores de CBR de 15,50 para C-1 y 15,86 para C-2. Cuando se añadió ceniza de carbón, la muestra recuperada de C-1 también mejoró su CBR, aumentando a 7,9 con una adición del 15%, muy parecido a la muestra recuperada de C-2, que aumentó en 8,1. Se encuentra que las subrasantes de Ciudad del Niño, Piura, mejoraron como hallazgo del proceso de estabilización mediante cenizas de carbón.

(Villanueva, 2023), este tipo de exploración empleó un diseño cuasiexperimental con un método cuantitativo para analizar el comportamiento físico-mecánico de las cenizas con la finalidad de mejorar el suelo natural. Se recogieron cenizas de carbón de cuatro fábricas de ladrillos diferentes para identificar. En seis fosas para investigaciones de mecánica de suelos, se quemó la mejor ceniza para crear una óptima composición puzolánica en  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ . Posteriormente se agregaron porcentajes de 5%, 10%, 15% y 20% de



ceniza de carbón para obtener resultados categóricos. Se encontró que los valores de CBR obtenidos en la muestra con y sin tratamiento variaron significativamente entre las muestras con y sin tratamientos a través de las pruebas correspondientes realizadas en el laboratorio en relación con las pruebas Proctor modificada mostrados incrementos porcentuales notables. En cada muestra recolectada para cada uno de los puntos designados se examinaron los distintos tipos de suelo y la adición adecuada. Se descubrió que al agregar un 10% de ceniza a la muestra 1 se lograron hallazgos al 95% del CBR, con un contenido de humedad óptimo de 14,77% y una densidad seca máxima de 1,688 g/cm<sup>3</sup>. Esto se aplica al tipo de suelo CL, o arcilla de baja plasticidad, en los casos en que la estabilidad del suelo arcilloso ha mejorado significativamente confirmando así la idea que se planteó y demostró ser cierta durante esta exploración. Esto ofrece una nueva opción en el sector de la construcción.

(Bueno & Torre, 2019), se usó ciencia a nivel aplicado, diseño no experimental y metodología cuantitativa. Las calles y parches de bosque de pino con suelo arenoso-limoso encontrados en el área de exploración, la cual se ubica en la localidad distrital de Independencia, localidad provincial de Huaraz y se extiende por los kilómetros 3 al 5, incluyeron tanto a la población como a la muestra. Los instrumentos que se usaron para la recolección de información directa fueron las fichas técnicas de las normas establecidas de los ensayos posteriores y confiables para esta exploración: El laboratorio de suelos se utilizó para realizar los siguientes ensayos: MTC E 107-2000 (granulometría), MTC E 108 -2000 (contenido de humedad) y MTC E 110-2000 (limitación de líquidos y



plásticos) ASTM 1557 (CBR) ASTM D 4318 (Proctor modificado). Tras las pruebas pertinentes, la combinación de cenizas de carbón y tierra natural arrojó proporciones en peso favorables del 3, 5 y 10%; además, se descubrió que la proporción más ideal y favorable para un suelo natural que presenta estos atributos es el 5%.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Mejoramiento de material granular**

Las capas de la estructura de la pavimentación a menudo se construyen usando material granular procedente de determinadas canteras que cumplen con las especificaciones del diseño del pavimento. Sin embargo, actualmente existen métodos que permiten reutilizar los áridos de pavimentación que se encuentran en mal estado, desgastado con el tiempo, lo que ayudó a reducir la necesidad de extracción y los costos de fabricación.

Constituirá el material granular que tenga al menos una de las siguientes características: 30% del valor de carga (CBR) bajo cualquier otra presión, y el 100% de la presión supervisora modificada en una muestra compacta saturada que especifique el diseñador, un máximo de 9 para el indicador de plasticidad (PI) y un máximo de 40 para la limitación líquida (LL). (Canaza, 2020).

#### **2.2.1.1. Propiedades físicas en material de sub base**

Las cualidades estructurales y mecánicas de las particularidades físicas del componente de la subbase definen su capacidad para soportar cargas y soportar deformaciones en una variedad de escenarios ambientales y de carga. La construcción de infraestructuras sólidas y seguras, incluidas carreteras y aceras, requiere estas cualidades. La capacidad de carga es crucial porque



indica la resistencia del material a las presiones aplicadas y garantiza que puede soportar el peso de vehículos en movimiento sin sufrir deformaciones apreciables. Otra característica importante de la estabilidad del material es su capacidad para resistir movimientos no deseados y preservar la integridad estructural bajo tensiones tanto dinámicas como estáticas. En su conjunto, estas características físicas garantizan que el material de la subbase pueda satisfacer los requisitos técnicos necesarios para proporcionar una base fuerte y segura para las estructuras superiores, garantizando funcionalidad y seguridad durante toda su vida útil.

## **A. Clasificación por AASHTO**

La categorización por AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) se refiere a un método que utiliza características de durabilidad y resistencia para clasificar los materiales de base, subbase y subrasante. Este enfoque divide los materiales en muchas categorías según qué tan bien pueden soportar cargas y resistir la deformación en ciertos escenarios climáticos y de tráfico. AASHTO clasifica los materiales en función de una serie de factores, uno de los cuales es el índice de grupo de soporte (SGI), que evalúa la resistencia relativa del material mediante pruebas de laboratorio. Al construir carreteras y otra infraestructura vial, este índice se puede utilizar para evaluar la idoneidad de un material como subbase, subrasante o cimiento. Dependiendo de su composición y atributos físicos, la AASHTO puede clasificar los materiales como de alta capacidad de carga y resistencia o de baja capacidad de carga y resistencia. Esta categorización es esencial para planificar y construir

infraestructura duradera, garantizando que los materiales usados acatan los requisitos técnicos particulares de cualquier proyecto vial.

### Figura 1.

*Sistema de clasificación por AASHTO.*

Clasificación General	Material Granular						Material limo arcillosos				
	A-1		A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5
% pasante											
#10	50% máx										
#40	30% máx	50% máx					51% mín				
#200	15% máx	25% máx	35% máx	35% máx	35% máx	35% máx	10% máx	36% mín	36% mín	36% mín	36% mín
Características del material que pasa por el tamiz #40											
LL			40% máx	41% mín	40% máx	41% mín	N.P.	40% máx	41% mín	40% máx	41% mín
Ip	6% máx	6% máx	10% máx	10% máx	11% mín	11% mín		10% máx	10% máx	11% mín	11% mín
Ig	0	0	0	0	4 máx	4 máx	0	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipo de material	Fragmentos pétreos de gravas y arenas		Gravas y arenas, limosas y arcillosas				Arena fina	Suelos limosos		Suelos arcillosos	

### B. Contenido de humedad

Es un factor importante que tiene un gran impacto en sus particularidades físicas y mecánicas. Esta frase, que describe el contenido de agua del material en proporción a su peso seco, es crucial para determinar la resistencia, estabilidad y compactibilidad del material. La compactación durante la construcción sólo puede facilitarse mediante un contenido de humedad suficiente. La capacidad del material para soportar peso y soportar deformaciones puede verse afectada negativamente si está muy seco y es difícil de comprimir. Sin embargo, un nivel excesivo de humedad podría hacer que el material se volviera excesivamente flexible y propenso a la erosión, lo que socavaría su estabilidad y dureza a largo plazo. Mantener un contenido de

humedad controlado también es esencial para evitar problemas como la expansión o contracción del material como resultado de las variaciones climáticas. Esto podría tener un impacto en la estabilidad estructural de la subbase y, a su vez, en la vida útil de la infraestructura vial.

### **C. Limite líquido**

Una característica física esencial de los suelos y materiales de construcción que caracteriza cómo se comportan en diversas situaciones de humedad se llama limitación líquida. Es la cantidad más baja de agua necesaria para que un suelo se vuelva maleable y actúe como un líquido bajo ciertas configuraciones de prueba controladas. Este límite se establece mediante experimentos de laboratorio, particularmente la técnica de Casagrande, en la que se monitorea el comportamiento del suelo bajo la aplicación de una presión constante. Se proporciona la proporción del peso seco del suelo que representa la limitación líquida. Dado que la limitación líquida afecta la elasticidad y la capacidad de carga del suelo, es crucial entenderlo en ingeniería civil y construcción. Los suelos con la limitación líquida más alta suelen ser más maleables y más propensos a la desecación y la erosión. Por el contrario, los suelos con límites líquidos más bajos suelen ser más estables y menos maleables, particularmente cuando se someten a tensiones dinámicas.

### **D. Limite plástico**

Además de la limitación líquida, la limitación plástica es una característica crucial de los suelos y materiales de construcción que ayuda a describir cómo se comportan en diversos rangos de humedad. El contenido crítico de agua es el punto en el que el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido, perdiendo su capacidad de comportarse como una masa moldeable y



volviéndose quebradizo. La limitación plástica se establece mediante pruebas de laboratorio, generalmente con la técnica de Casagrande, al igual que el límite líquido. Para determinar el porcentaje de humedad en una muestra de suelo, se aplica agua progresivamente hasta que a la muestra se le pueda dar forma de hilo con un diámetro de 3 mm. Luego se seca la muestra. Dado que la limitación plástica afecta la capacidad del suelo para soportar cargas, es un conocimiento crucial para la ingeniería civil y la construcción y su vulnerabilidad a la deformación. Cuando están secos, los suelos con mayores límites plásticos suelen ser más difíciles de manejar y densos, mientras que los suelos con límites plásticos más bajos son más trabajables y flexibles.

#### **E. Índice de plasticidad**

El grado en que varía la consistencia del suelo en respuesta a variaciones en la capacidad de agua está indicado por el indicador de plasticidad. Un alto indicador de plasticidad significa que cuando cambia la capacidad de agua del suelo, hay un cambio notable en la consistencia entre las etapas plástica y semisólida. Por otro lado, un indicador de plasticidad bajo indica que el suelo tiene una consistencia más consistente en un rango más amplio de humedad y es menos susceptible a cambios en el contenido de agua.

$$IP = LL - LP \quad \text{Ecu. (1)}$$

En la cual:

IP es el indicador de plasticidad.

LL es la limitación líquida.

LP es la limitación plástica.



### **2.2.1.2. Propiedades mecánicas en material de sub base**

#### **A. Máxima densidad seca**

En la ingeniería de suelos y materiales de construcción, la densidad seca máxima es un concepto crucial, particularmente en el diseño y construcción de carreteras y pavimentos. Es la densidad máxima que puede alcanzar el suelo compactado manteniendo al mismo tiempo el control de la humedad y la compactación. En una prueba de laboratorio, una muestra de suelo se compacta en capas utilizando herramientas especializadas, como un compactador convencional o un martillo compactador, para encontrar la densidad seca máxima del suelo. Para garantizar condiciones ideales de compactación, durante todo este procedimiento se gestiona la cantidad de humedad del suelo. La masa y el volumen de la muestra se miden después de la compactación para determinar su densidad seca. La densidad seca máxima es importante porque ofrece detalles vitales sobre las características mecánicas del suelo. Una vez establecido, puede usarse como punto de referencia para contrastar la densidad lograda en el campo durante la construcción. El suelo ha sido adecuadamente compactado y puede ofrecer la resistencia y estabilidad necesarias para soportar las cargas del tráfico de vehículos y resistir la deformación si su densidad seca es cercana a la densidad seca máxima.

#### **B. Contenido de humedad optima**

El contenido de humedad ideal del suelo es la cantidad de humedad que permite alcanzar la máxima densidad seca durante el proceso de compactación. Esta idea es fundamental en la ingeniería civil, particularmente en la edificación de carreteras y pavimentos, donde el objetivo es garantizar que el suelo

compactado tenga la suficiente estabilidad y resistencia para soportar los volúmenes de tráfico y resistir las alteraciones. El nivel de humedad óptimo se determina mediante pruebas de laboratorio y de campo. En el laboratorio se crean muestras de suelo con diferente contenido de humedad y se compactan usando equipos de compactación estándar en un ambiente controlado. Después de la compactación, se mide la densidad seca de cada muestra para identificar el contenido de humedad que da como resultado la densidad seca máxima. La construcción de bases y subbases viales se guía por este conocimiento en el campo. Dependiendo de si el contenido de humedad inicial era demasiado alto o demasiado bajo en comparación con el nivel ideal, para lograrlo se utilizan métodos como el riego o el secado del suelo. Se garantiza una base sólida y segura para la estructura del pavimento maximizando la capacidad de carga y la resistencia del suelo compactado durante la construcción obteniendo el contenido de humedad ideal. Esto reduce problemas como la deformación y el asentamiento temprano, extendiendo así la vida útil y la durabilidad de pavimentos y carreteras.

### **C. C.B.R. 01 al 100%**

El CBR, o California Bearing Ratio, sirve como indicador de resistencia para determinar la capacidad de carga relativa de un suelo. Cuánta presión se requiere para ingresar a una muestra de suelo y cuánta presión se requiere para ingresar a una muestra típica de roca triturada a la misma profundidad y condiciones de compactación se expresa como un porcentaje.

El valor del CBR varía desde 0 hasta 100%:



Un valor de CBR del 0% indicaría que el suelo tiene una capacidad de soporte muy baja y es extremadamente suave.

Un valor de CBR del 100% indicaría que el suelo tiene una capacidad de soporte muy alta y es extremadamente duro y resistente.

Se compacta una muestra de suelo en un molde estándar y se aplica una carga penetrante a un ritmo predeterminado en una prueba de laboratorio para evaluar el CBR. La relación dada anteriormente se utiliza para calcular el CBR y cuantificar la profundidad de penetración. CBR se utiliza en ingeniería de pavimentos para categorizar suelos y pronosticar cómo se comportarán bajo cargas de tráfico. Los suelos con alto CBR (casi 100%) proporcionan una base firme y estable que reduce la posibilidad de asentamiento y deformación, lo que los hace perfectos para su uso en capas de base y subbases de carreteras.

#### **D. C.B.R. 01 al 95%**

El CBR (California Bearing Ratio) en ingeniería civil, es una métrica esencial para evaluar la capacidad de carga de un suelo bajo ciertos niveles de compactación y humedad. El vínculo entre la presión necesaria para penetrar una muestra estándar de roca triturada y la presión necesaria para penetrar un suelo a la misma profundidad y circunstancias se representa como un porcentaje.

CBR, que oscila entre 01 y 95%, denota varios grados de resistencia del suelo:

CBR entre 1% y 30%: Muestra la poca capacidad de carga que tiene el suelo. Dado que estos suelos suelen ser bastante blandos, no pueden soportar



grandes cargas sin un diseño estructural adicional, incluido un refuerzo de material más resistente.

CBR que oscila entre el 30 % y el 50 %: suelos con soporte moderado. Se pueden utilizar en bases y subbases de carreteras, aunque es posible que se necesite más cuidado y potencialmente métodos de mejora del suelo para aumentar su resiliencia.

CBR entre 50% y 80%: Representa suelos con gran capacidad de soporte. Proporcionan una fuerte resistencia a las cargas del tráfico, lo que los hace apropiados para su uso en capas de base y subbases de carreteras. CBR que oscila entre 80% y 95%: Suelos de capacidad extremadamente alta. Debido a que proporcionan una resistencia superior a las cargas de tráfico y mejoran la longevidad de la construcción de carreteras, estos suelos son perfectos para su uso como capa de cimentación de carreteras. Es importante recordar que el valor CBR preciso requerido para un proyecto depende de los criterios técnicos de diseño, el tipo de tráfico previsto y las circunstancias locales. Como resultado, la evaluación CBR nos permite elegir los materiales adecuados y crear construcciones viales seguras y duraderas.

### **2.2.2. Base granular**

Esta capa, que es una de las capas que componen la estructura del pavimento, se sitúa entre la capa subfilada y está formada por material de relleno, tierra de grava y piedra triturada clasificada de alta calidad. Generalmente se extrae de canteras cercanas de acuerdo con las especificaciones marcadas en el diseño estructural de la pavimentación. Para asegurar un adecuado comportamiento y calidad del resultado final, que

beneficie al paquete estructural del pavimento, las piezas que componen la base granular deben ser de la mayor calidad. La calidad de la base y la gradación de las partes constituyentes, la forma, la densidad relativa, la cohesión de sus 24 partículas y la fricción interna afectan su estabilidad. La relación proporcional entre la cantidad de árido fino y grueso que componen esta mezcla incide directamente en estas cualidades. (Aguilar & Marquez, 2021).

### **2.2.3. Base estabilizada**

Situada entre la subbase y la superficie de rodadura, es una de las capas que componen el paquete estructural de la pavimentación. Esta capa está formada por material de relleno, suelo de grava y piedra triturada de alta calidad. Estos materiales se mezclan con materiales estabilizadores, también conocidos como agentes estabilizantes, que se preparan y construyen mediante técnicas de estabilización para optimizar las propiedades mecánicas del material. Como consecuencia, se crea una base suficiente para sostener y transmitir las cargas provocadas por el tráfico. Los agentes estabilizantes más comunes incluyen cal, cemento, emulsiones asfálticas, asfalto y enzimas. (Aguilar & Marquez, 2021).

### **2.2.4. Cenizas de carbón**

Muestra las cenizas de carbón que pueden dividirse en cenizas volantes, cenizas de fondo y cenizas mixtas; Los residuos que se descubren en el fondo de las calderas y son indicativos de carbón sin quemar se denominan cenizas volantes. Tiene tamaños de partículas superiores a 0,075 mm (retenidos en malla No. 200). El material residual se utiliza principalmente como relleno en investigaciones debido a su bajo potencial puzolánico. Los residuos con un diámetro inferior a 0,075 mm que quedan atrapados en los filtros de la caldera



(a través de la malla N° 200) se conocen como cenizas de fondo. Se ha demostrado que produce reacciones en microestructuras tanto cristalinas como amorfas mediante la síntesis de aluminosilicatos alcalinos utilizando una solución activadora de hidróxido alcalino y silicato alcalino. Debido a su condición de geo polímero, esta sustancia puede tener cualidades puzolánicas comparables a las del cemento Portland. (Cubas, 2016).

### 2.3. Marco conceptual

**Mejoramiento:** Proceso de hacer algo mejor en términos de resistencia, utilidad, durabilidad o calidad. Cuando se refiere a pavimentos, significa tomar medidas para mejorar la infraestructura vial maximizando las propiedades del material granular utilizado en las subbases.

**Material Granular:** Material utilizado para ofrecer resistencia y soporte a pavimentos de construcción y otras construcciones, como piedra triturada, grava o arena, que está formado por pequeñas partículas de diferentes tamaños.

**Cenizas de Carbón:** Residuos sólidos que se producen cuando se quema carbón mineral en centrales eléctricas u otros negocios. Se usan en ingeniería civil para varios propósitos, incluido mejorar el suelo y el pavimento, y pueden incluir productos químicos tanto orgánicos como minerales.

**Subbase de Pavimentos:** Una capa de material distribuida uniformemente sobre la capa de cimentación o suelo natural que está destinada a sostener el tráfico de vehículos y dispersar los pesos hacia la base del pavimento. Mejorar la subbase aumenta la durabilidad y estabilidad general de la pavimentación.



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Enfoques del estudio

Los métodos e instrumentos estadísticos se emplean en la exploración cuantitativa para recopilar datos de forma organizada y metódica. Para recopilar datos se utilizan técnicas que incluyen encuestas, experimentos controlados, análisis de registros y observaciones organizadas. Para encontrar patrones, tendencias y correlaciones entre variables, estos datos numéricos se someten a análisis estadístico. (Pita, 2002, pág. 6).

En esta exploración se estudiará la mejora del material granular utilizando una técnica cuantitativa. Este método implica que el procesamiento y la recopilación de información se realizarán de forma cuantitativa y de acuerdo con determinadas pruebas. Para evaluar y estudiar la resistencia, estabilidad y otras cualidades del material granular relacionadas con su uso en aplicaciones de ingeniería civil, como construcciones de pavimentos y carreteras, estas pruebas proporcionarán datos cuantitativos.

Una evaluación precisa e imparcial del comportamiento del material granular en diversas circunstancias y tratamientos de mejora es posible mediante el uso de datos numéricos procedentes de ensayos. Esto implica



determinar factores importantes que son necesarios para planificar y construir infraestructura segura y duradera, como la densidad seca máxima, la resistencia a la compresión y la capacidad de carga (CBR), entre otros.

### **3.2. Métodos aplicados en el estudio**

El enfoque inductivo es un tipo de razonamiento lógico en el que se llega a una conclusión general mediante la observación de patrones o acontecimientos particulares. Se distingue por comenzar con datos específicos y sacar conclusiones generales de ellos aplicando lo particular a lo general. (Rodríguez, 2007, pág. 14).

La exploración empleará una técnica científica inductiva que implica la recopilación sistemática de datos sobre las cualidades mecánicas y físicas de los suelos, así como la observación cuidadosa de sus ocurrencias granulares extraídos de dos fuentes distintas: la cantera granular de Taparachi Hill y las canteras del río Isla. La adición de cenizas de carbón tendrá como objetivo principal mejorar estas características.

### **3.3. Tipos del estudio**

La exploración aplicada es una rama de la ciencia que se centra en resolver problemas del mundo real abordando cuestiones prácticas y utilizando los resultados de la investigación para afrontar circunstancias específicas. A diferencia de la investigación pura, que apunta principalmente a aumentar el conocimiento teórico, la exploración aplicada se concentra en producir respuestas viables y útiles a cuestiones particulares en una variedad de disciplinas. (Castro & Gómez, 2023, pág. 54).



Esta exploración encaja en la categoría de exploración aplicada, que denota la aplicación de teorías, definiciones y métodos recopilados sobre la mejora de materiales granulares en entornos del mundo real. La finalidad principal es utilizar esta información para mejorar los materiales que Juliaca utilizará para su subbase de pavimento. La exploración aplicada se caracteriza por su concentración en resolver problemas particulares y producir soluciones viables y relevantes dentro del dominio particular de la ingeniería civil. En este caso, el énfasis estará en cómo los materiales granulares extraídos de las canteras de Taparachi Hill e Isla River pueden optimizar sus cualidades mecánicas y físicas mediante técnicas de mejora como la inclusión de cenizas de carbón u otros procedimientos.

#### **3.4. Niveles del estudio**

La exploración descriptiva es un nivel de exploración científica que se concentra en caracterizar rasgos, acciones o eventos en sus entornos naturales, sin ajustar variables ni intentar establecer conexiones causales. Este nivel de exploración es necesario para comprender la naturaleza y las características de un fenómeno y crear una base sólida para futuras exploraciones. (Guevara, Verdesoto, & Castro, 2020, pág. 21).

En esta exploración se utilizarán enfoques de nivel descriptivo y correlacional para investigar los factores asociados con el realce de materiales granulares destinados a la subbase de pavimentos en la localidad de Juliaca. Esta técnica destaca porque pretende proporcionar una descripción detallada de los atributos y cualidades de los materiales, junto con el establecimiento de



correlaciones entre estas variables para mejorar la comprensión de sus interacciones e impactos.

La finalidad del nivel descriptivo será proporcionar una explicación comprensible y metódica de las particularidades mecánicas y físicas de los materiales granulares que fueron extraídos de las canteras de Taparachi. Esto cubrirá su densidad, permeabilidad, textura, resistencia a la compresión y otras propiedades pertinentes que afectan su funcionamiento como materiales de subbase para pavimento.

Por el contrario, el nivel correlacional explorará las asociaciones entre estos factores en un esfuerzo por encontrar vínculos significantes que puedan afectar la eficacia de las técnicas de mejora utilizadas, incluido el uso de cenizas de carbón. Esta conexión ayudará a determinar qué variables interactúan entre sí en diversos entornos y tratamientos, así como qué factores tienen el mayor impacto en la mejora de las cualidades del suelo.

### **3.5. Diseños del estudio**

### **3.6. Poblaciones y muestras**

La finalidad del diseño del experimento es organizar, llevar a cabo y evaluar el experimento de una manera que garantice que se recopilen la información necesaria y que tengan validez estadística para sacar conclusiones confiables y aplicables. La capacidad de reproducir de manera confiable los hallazgos, particularmente en una operación a gran escala, se conoce como validez estadística. (Gutiérrez, Díaz, & Guzmán, 2009).

En esta exploración se examinará mediante un enfoque experimental la impactación de la adición de cenizas de carbón a materiales granulares

destinados a la subbase de pavimentos en Juliaca. En este ejemplo, la cantidad o porcentaje de ceniza de carbón suministrada a los suelos de las canteras de Taparachi sería la variable controlada en esta técnica experimental.

En un diseño experimental, una variable independiente es aquella que se altera o modifica intencionalmente para rastrear su impacto en las variables dependientes. Propiedades como resistencia a la compresión, capacidad de carga (CBR), densidad seca máxima y otros atributos mecánicos y físicos pertinentes de los suelos mejorados podrían considerarse variables dependientes en esta situación.

Gracias al diseño experimental será posible determinar vínculos causales entre la adición de cenizas de carbón y las alteraciones observadas en las características de los materiales granulares. Para hacer esto, se agregarán cantidades variables de ceniza de carbón en el laboratorio y tal vez en el campo, y se monitorearán los efectos de estas adiciones en las características del suelo.

### **3.6.1. Unidades de observación**

Dependiendo del tema de exploración y el alcance de la exploración, el tamaño del universo de exploración varía significativamente. Podría ser un grupo de personas más pequeño y centrado o una comunidad más amplia y variada. (Pantoja, Arciniegas, & Álvarez, 2022, pág. 18).

Los materiales granulares que se utilizarán para la pavimentación de las vías de la localidad de Juliaca constituyen la población de exploración en esta investigación. Debido a que estos materiales son esenciales para la estructura y longevidad de las calles y carreteras de las ciudades, son cruciales para la construcción de aceras.



Los agregados como la arena y la grava son ejemplos de materiales granulares y son necesarios para proporcionar a los pavimentos una base sólida. Para garantizar el rendimiento y la vida útil prevista de las infraestructuras viarias, estos materiales deben cumplir un conjunto de requisitos de calidad y poseer determinadas cualidades físicas y mecánicas.

Los componentes granulares tomados de las fuentes locales de estos materiales en la región de Juliaca (las canteras del río Isla y el cerro Taparachi) serán examinados especialmente en el contexto de este estudio. Para maximizar la resistencia, la estabilidad y otras cualidades del suelo que son importantes para su uso en pavimentos, la investigación se concentrará en mejorar estas cualidades a través de la adición de cenizas de carbón u otras técnicas de mejora del suelo.

### **3.6.2. Muestra**

Un subconjunto representativo de la población de exploración elegida para participar en determinadas investigaciones se conoce como muestra de investigación. En lugar de examinar cada población, se selecciona una muestra con rasgos comparables con la población en su conjunto, las conclusiones del estudio pueden implementarse ampliamente con un grado razonable de validez y precisión. (García, Reding, & López, 2013, pág. 7).

Como puede ver, la muestra de estudio para esta exploración se seleccionó mediante una técnica de muestreo por conveniencia. La muestra del estudio consta de cuatro pruebas CBR (California Bearing Ratio), cada una con una dosis diferente de materiales granulares y aditivos como ceniza de carbón. El enfoque de muestreo por conveniencia se distingue por la selección no

aleatoria de elementos de la población según accesibilidad y disponibilidad de los elementos explorados.

El uso de cuatro pruebas CBR distintas para esta exploración permitirá la recopilación de información significativa y representativa sobre los efectos de diferentes dosis de cenizas de carbón sobre las particularidades del suelo y, por lo tanto, su capacidad de carga. Esto facilitará la comparación de los hallazgos y el análisis de cómo las diferentes dosis podrían afectar el funcionamiento de los componentes granulares como subbase de la pavimentación en Juliaca.

### **3.7. Técnica e instrumento de recolección de datos**

#### **3.7.1. Técnica del estudio**

Un método de exploración llamado observación directa se utiliza en una variedad de campos, incluido el tratamiento de aguas residuales, la ingeniería ambiental y el agua purificada. Con este método, las actividades, interacciones o sucesos se observan y documentan metódicamente a medida que tienen lugar en su entorno natural, sin realizar modificaciones en la actividad que se observa. (Itziar & Vizcarra, 2014, pág. 16).

El enfoque de observación directa se utilizará en este estudio para documentar y examinar cualquier fenómeno relevante que surja durante las pruebas experimentales del suelo. Un método de recopilación de datos es la observación directa que implica la observación metódica y profunda de determinadas acciones, acontecimientos o rasgos sin ningún tipo de interferencia o implicación directa.

Se utilizará la observación directa durante todo el proceso de prueba del suelo para documentar detalles importantes, incluido el procedimiento de



preparación de la muestra, las condiciones de compactación, la aplicación de carga, la reacción del suelo a insumos como cenizas de carbón y métricas de medición como CBR y resistencia a la compresión. Para obtener datos precisos y confiables sobre las interacciones entre los factores independientes (dosis de cenizas de carbón) y las variables dependientes (calidades del suelo), se registrará cada acción y detalle.

Este método garantiza una recopilación de información exhaustiva y objetiva, lo que permite una comprensión profunda de los fenómenos observados durante las pruebas. Para evaluar y comprender adecuadamente los hallazgos experimentales, encontrar patrones, tendencias y conexiones potenciales entre las variables en exploración, los datos de observación directa serán esenciales.

### **3.7.2. Instrumento del estudio**

Los instrumentos de exploración llamados hojas de observación se utilizan para ordenar y documentar metódicamente las observaciones obtenidas durante una exploración. Estas hojas de trabajo son particularmente útiles para proyectos de exploración que requieren la recopilación de información cualitativa mediante la observación de primera mano de incidentes, actos, interacciones o circunstancias en sus entornos naturales. (Castro A. , 2015, pág. 12).

En esta exploración se utilizarán hojas de observación directa, a menudo denominadas formularios de laboratorio de suelos, para recopilar información sobre los eventos que ocurren durante las pruebas de suelo. Estos formatos son instrumentos organizados creados especialmente para documentar de manera meticulosa y metódica cada detalle pertinente que surge durante los juicios.



El uso de hojas de observación directa garantiza que la información se recopile de manera organizada y consistente, lo que facilita la evaluación y el análisis de los hallazgos experimentales más adelante. Esto ayuda a mantener un registro extenso y auditado de todas las acciones realizadas en el laboratorio de suelos, lo cual es esencial para mantener la validez, reproducibilidad y apertura de los resultados científicos.

### **3.8. Validación y confiabilidades de instrumentos**

#### **3.8.1. Validaciones del instrumento**

Un paso crucial en la exploración y otros campos donde se utilizan instrumentos, escalas, cuestionarios u otras técnicas de recopilación de información pertinente es la validación de instrumentos. Se garantiza que los instrumentos validados serán válidos y confiables al medir las cosas para las que están diseñados.

Cuando una herramienta de medición captura e incluye suficientemente cada faceta significativa del constructo bajo examen, se dice que posee validez de contenido. Dicho de otra manera, la tarea que nos ocupa implica determinar si las preguntas o elementos incluidos en la herramienta son pertinentes, adecuados y lo suficientemente completos para evaluar el constructo relevante. (Galicia, 2017, pág. 33).

#### **3.8.2. Confiabilidades del instrumento**

La estabilidad de un instrumento y la consistencia de la medición a lo largo del tiempo y bajo diversas condiciones se denominan confiabilidades. Dicho de otra manera, un aparato se considera confiable si produce resultados consistentes y repetibles cuando se usa en circunstancias comparables.

Una medida de la confiabilidad interna de una escala de medición o de un cuestionario se llama alfa de Cronbach o coeficiente alfa. Esta métrica evalúa la consistencia interna de los ítems del instrumento, o qué tan estrechamente se correlacionan los ítems del cuestionario entre sí y miden los mismos rasgos o conceptos que el instrumento debe medir. (Quero, 2010, pág. 15).

La coeficiencia alfa de Cronbach varía de 0 a 1. La confiabilidad de un instrumento para evaluar el concepto subyacente se sugiere mediante un número más cercano a 1, lo que indica una mejor consistencia interna entre sus componentes.

Para calcular el alfa de Cronbach, use esta formulación:

$$\alpha = \frac{N}{N - 1} \left( 1 - \frac{\sum \sigma_i^2}{\sigma_X^2} \right)$$

Donde:

N: cantidad de ítems en el instrumento.

$\sigma_i$ : varianza de puntajes de cada ítem.

$\sigma_X$ : varianza de puntajes totales de todos los ítems.

En psicometría y para evaluar la fiabilidad de escalas de medición y cuestionarios, se utiliza a menudo el alfa de Cronbach. En la mayoría de las situaciones, un valor alfa de Cronbach de 0,70 o superior se considera aceptable; sin embargo, el umbral puede cambiar según la situación y la finalidad de la herramienta de medición. Recuerde que la homogeneidad del constructo que se evalúa y la cantidad de ítems del instrumento influyen en el alfa de Cronbach.

### **3.9. Diseños de las estrategias para las pruebas de hipótesis**

Partiendo de las presunciones de que las poblaciones de las que se toma la información muestral tienen una distribución regular con la misma varianza y



que las muestras son independientes, se ejecuta el ANOVA. ANOVA viene en varias formas, incluye, entre otros, ANOVA de covarianza (cuando se toma en consideración una variable de control), ANOVA unidireccional (donde un solo factor separa los grupos), ANOVA bidireccional (donde dos factores dividen los grupos) y ANOVA de medidas repetidas (cuando la misma variable se evalúa en múltiples períodos).

Aquí repaso las ideas y procedimientos fundamentales para realizar un ANOVA:

Hipótesis nula y alternativa:

La  $H_0$  afirmaría que no hay diferencias significantes entre las medias de los grupos.

La  $H_1$  ha sugerido que implica que hay al menos una media de grupo que difiere notablemente del resto.

Tipos de ANOVA:

Medidas repetidas ANOVA: Examina las medias de las mismas Unidades (sujetos) en diversas circunstancias o períodos.

Examen F:

Para evaluar si las diferencias de medias grupales son mayores de lo que se podría predecir por casualidad, el ANOVA emplea el estadístico F.

La relación entre la variabilidad dentro del grupo dividida por la variabilidad entre grupos produce el estadístico F.

Niveles de libertad:

Calculamos grados de libertad adicionales para cada elemento y para las combinaciones de los componentes en un ANOVA de dos factores.



Análisis del resultado:

Se rechaza la  $H_0$  y se supone que al menos una de las medias del grupo difiere sustancialmente si el valor  $p$  para la prueba  $F$  es menor que un umbral significativo predeterminado, que suele ser 0,05.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Presentación, análisis e interpretación de los datos

Los pasos secuenciales y complementarios de presentación, análisis e interpretación de datos permiten la transformación de datos sin procesar en información importante y útil para generar información y tomar decisiones.

##### 4.1.1. Encontrar las propiedades físicas y mecánicas del material granular sin cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024

Se realizan experimentos del suelo, como análisis granulométricos, contenido de humedad y limitaciones de consistencia, para establecer la física y la mecánica del material granular sin cenizas.

#### Tabla 2.

*Propiedades físicas del material granular*

Descripción	Valores
Clasificación por AASHTO	A-1-a(0)
Contenido de humedad	8.80%
Limitación líquida	22.50%
Limitación plástica	20.63%
Indicador de plasticidad	1.84%

*Nota. Laboratorio de mecánica de suelos.*



**Descripción.** En conformidad con la tabulación 2, se aprecia la categorización del suelo conforme el sistema AASHTO es A-1-a(0), lo que indica que se trata de un suelo granular compuesto principalmente de arena y grava, con un contenido mínimo de partículas finas que pasan el tamiz N° 200. Este tipo de suelo es ideal para su uso en bases y subbases de pavimentos debido a su excelente estabilidad y capacidad de drenaje. La capacidad de humedad del suelo es del 8.80%, un valor que refleja una baja cantidad de agua en vinculación con el peso seco del suelo, lo cual es característico de suelos granulares que no retienen mucha humedad y, por ende, tienen buenas propiedades de drenaje. Los límites de Atterberg, que proporcionan información sobre las propiedades plásticas del suelo, son los siguientes: la limitación líquida es de 22.50%, y la limitación plástica es de 20.63%. Estos números implican que el suelo tiene una capacidad limitada ya que la restricción de líquido es el contenido de humedad en el que el suelo pasa de una condición semisólida a una plástica de cambiar de estado con variaciones de humedad. El bajísimo indicador de plasticidad del suelo, que se sitúa en el 1,84%, indica que el suelo no es especialmente flexible y apenas altera su forma o consistencia en respuesta a los cambios de humedad. Esta característica reduce la posibilidad de expansión o contracción, que podría comprometer la integridad estructural de los pavimentos, lo que resulta ventajoso para su estabilidad como material de construcción.

**Tabla 3.**

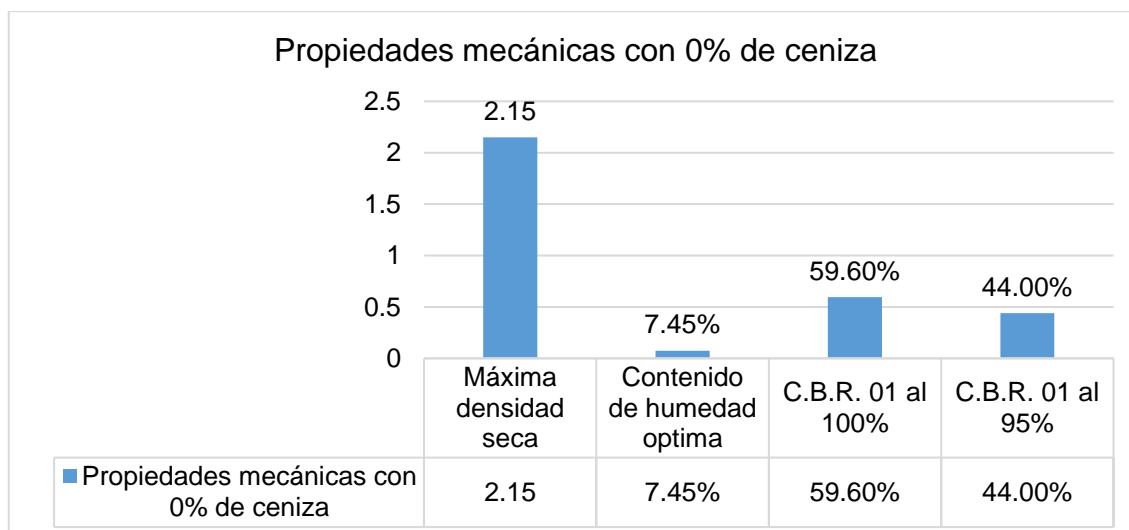
*Propiedades mecánicas del material granular.*

Descripción de propiedades mecánicas	Valores
Máxima densidad seca	2.15 gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad optima	7.45%
C.B.R. 01 al 100%	59.6%
C.B.R. 01 al 95%	44.0%

*Nota. Laboratorio de mecánica de suelos.*

**Figura 2.**

*Diagrama de propiedades mecánicas del material granular.*



*Nota. Laboratorio de mecánica de suelos.*

**Descripción.** En la tabulación 3 e ilustración 2, se aprecia que el suelo en cuestión exhibe características mecánicas significativas que son cruciales. La máxima densidad seca del suelo es de 2.15 gramos por centímetro cúbico, lo cual indica la densidad más alta alcanzable mediante compactación bajo condiciones controladas de laboratorio. 7,45% es el contenido de humedad ideal del suelo documentado. Esta cifra denota el contenido de humedad óptimo requerido para obtener la mayor densidad seca posible durante el proceso de compactación. Mantener la capacidad de humedad dentro de este rango es

crucial para asegurar que el suelo pueda ser compactado de manera efectiva y alcanzar su máxima capacidad de carga. Se presenta en dos condiciones: A una penetración del 100%, el CBR es del 59.6%. Esto indica una buena resistencia del suelo a la penetración bajo condiciones ideales de compactación y humedad óptima. A una penetración del 95%, el CBR disminuye ligeramente a 44.0%, lo que sugiere una resistencia algo menor del suelo bajo condiciones ligeramente menos favorables.

#### **4.1.2. Determinar las propiedades físicas y mecánicas del material granular con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024**

##### **Tabla 4.**

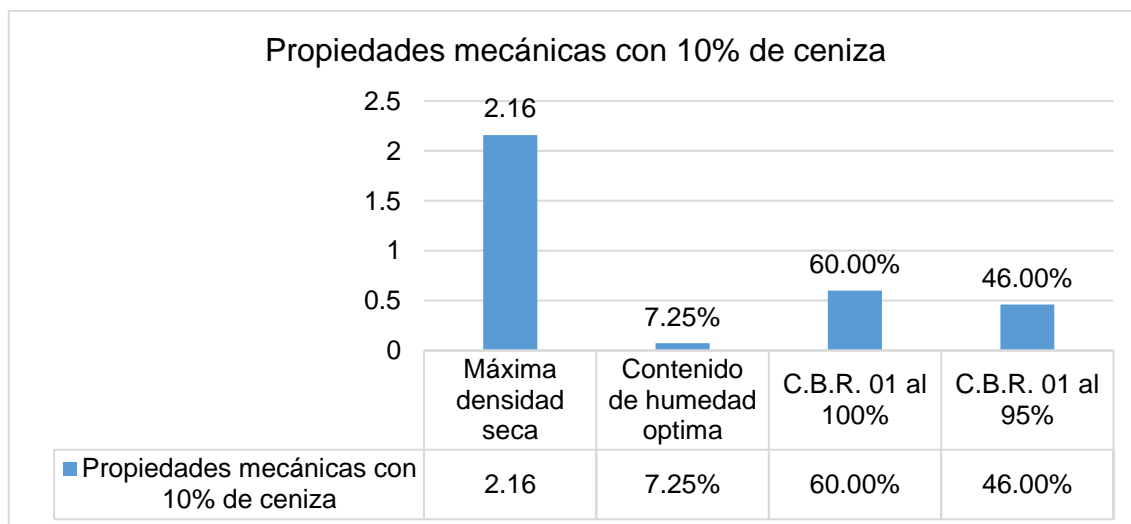
*Propiedades mecánicas del material granular con 10% de ceniza de carbón*

<b>Descripción</b>	<b>Valores</b>
<b>Máxima densidad seca</b>	2.16 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Contenido de humedad optima</b>	7.25%
<b>C.B.R. 01 al 100%</b>	60.0%
<b>C.B.R. 01 al 95%</b>	46.0%

*Nota. Laboratorio de mecánica de suelos.*

**Figura 3.**

*Diagrama de propiedades mecánicas del material granular con 10% de ceniza de carbón*



*Nota. Laboratorio de mecánica de suelos.*

**Descripción.** En la tabulación 4 e ilustración 3, se aprecia que el suelo descrito presenta propiedades mecánicas. La máxima densidad seca del suelo es de 2.16 gramos por centímetro cúbico, lo que indica la densidad más alta que puede alcanzar el suelo mediante compactación bajo condiciones controladas de laboratorio. Esta alta densidad seca es fundamental para asegurar la estabilidad y la capacidad de carga del suelo. Lo ideal es una humedad del suelo del 7,25 %. Esta cifra denota el contenido de humedad óptimo necesario para obtener la mayor densidad seca posible durante el proceso de compactación. Se observan dos cifras notables en relación con el indicador de carga de California (CBR), un indicador común de la capacidad de carga del suelo: cuando la penetración es del 100 %, el CBR es del 60,0 %. Esto indica una excelente resistencia del suelo a la penetración bajo condiciones óptimas de compactación y humedad. A una penetración del 95%, el CBR sigue siendo considerablemente

alto, con un valor de 46.0%. Esto sugiere que el suelo mantiene un buen contenido de soporte incluso bajo condiciones ligeramente menos favorables.

**Tabla 5.**

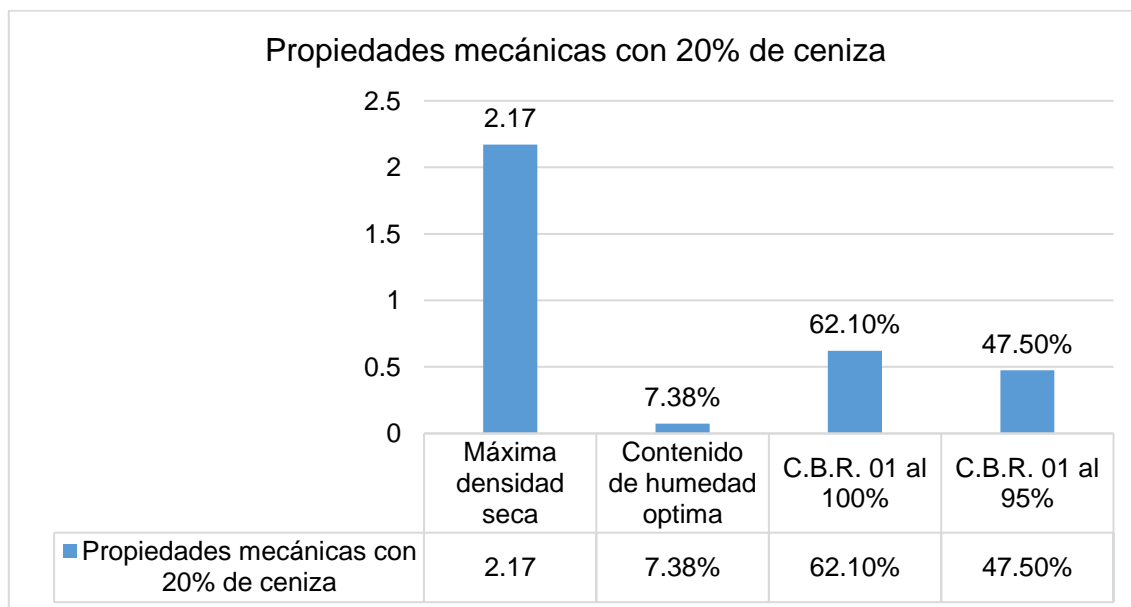
*Propiedades mecánicas del material granular con 20% de ceniza de carbón.*

Descripción	Valores
<b>Máxima densidad seca</b>	2.17 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Contenido de humedad óptima</b>	7.38%
<b>C.B.R. 01 al 100%</b>	62.10%
<b>C.B.R. 01 al 95%</b>	47.50%

*Nota. Laboratorio de mecánica de suelos.*

**Figura 4.**

*Diagrama de propiedades mecánicas del material granular con 20% de ceniza de carbón.*



*Nota. Laboratorio de mecánica de suelos.*

**Descripción.** En la tabulación 5 e ilustración 4, el suelo descrito exhibe propiedades mecánicas destacadas que lo hacen altamente adecuado. La máxima densidad seca del suelo es de 2.17 gramos por centímetro cúbico,

indicando la densidad más alta que puede alcanzarse mediante compactación bajo condiciones controladas de laboratorio. El 7,38% es el contenido de humedad ideal para el suelo. Esta cifra indica el contenido de humedad óptimo requerido para lograr la mayor densidad seca posible durante el proceso de compactación. Se observan dos valores notables para el indicador de carga de California (CBR), un indicador común de la capacidad de carga del suelo: A una penetración del 100%, el CBR es del 62.10%. Esto indica una excelente resistencia del suelo a la penetración bajo condiciones óptimas de compactación y humedad. A una penetración del 95%, el CBR es del 47.50%, lo cual también refleja una capacidad de soporte robusta incluso bajo condiciones ligeramente menos favorables.

**Tabla 6.**

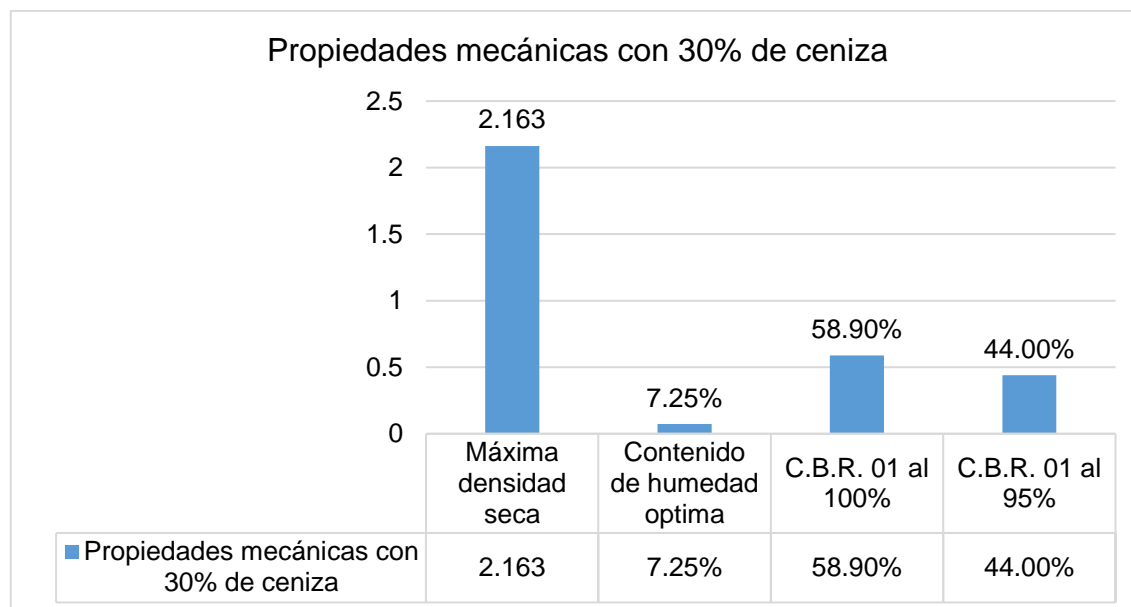
*Propiedades mecánicas del material granular con 30% de ceniza de carbón*

<b>Descripción</b>	<b>Valores</b>
<b>Máxima densidad seca</b>	2.163 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Contenido de humedad óptima</b>	7.25%
<b>C.B.R. 01 al 100%</b>	58.9%
<b>C.B.R. 01 al 95%</b>	44.0%

*Nota. Laboratorio de mecánica de suelos.*

**Figura 5.**

*Diagrama de propiedades mecánicas del material granular con 30% de ceniza de carbón*



*Nota. Laboratorio de mecánica de suelos.*

**Descripción.** En la tabulación 6 e ilustración 5, el suelo descrito presenta propiedades mecánicas significativas. El suelo tiene una densidad seca máxima de 2.163 gramos por centímetro cúbico, que es la densidad más alta que se puede alcanzar en un laboratorio controlado mediante compactación. Lo ideal es una humedad del suelo del 7,2%. Esta cifra indica el contenido de humedad óptimo requerido para obtener la mayor densidad seca posible durante el proceso de compactación. Se observan dos cifras significativas en vinculación con el índice de carga de California (CBR), un indicador común de la capacidad de carga de la pavimentación: con una penetración del 100%, el CBR es del 58,9%. Esto indica una buena resistencia del suelo a la penetración bajo condiciones ideales de compactación y humedad óptima. A una penetración del 95%, el CBR es del 44.0%, lo cual refleja una capacidad de soporte algo menor bajo condiciones ligeramente menos favorables.

**4.1.3. Comparar las propiedades físicas y mecánicas del material granular sin y con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024**

**Tabla 7.**

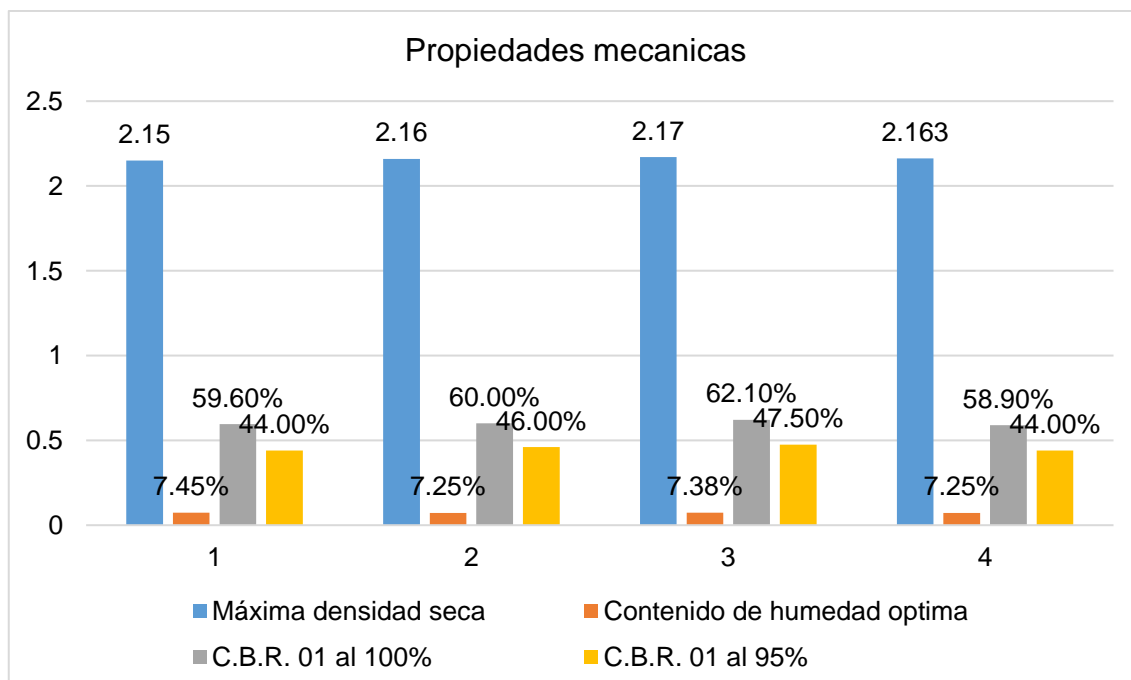
*Comparación de las propiedades mecánicas del suelo.*

Propiedades mecánicas	Ceniza			
	0%	10%	20%	30%
<b>Máxima densidad seca</b>	2.15	2.16	2.17	2.163
<b>Contenido de humedad optima</b>	7.45%	7.25%	7.38%	7.25%
<b>C.B.R. 01 al 100%</b>	59.60%	60.00%	62.10%	58.90%
<b>C.B.R. 01 al 95%</b>	44.00%	46.00%	47.50%	44.00%

*Nota. Laboratorio de mecánica de suelos.*

**Figura 6.**

*Comparación de las propiedades mecánicas del suelo.*



*Nota. Laboratorio de mecánica de suelos.*

**Descripción.** En la tabulación 7e ilustración 6 compara las particularidades mecánicas de la pavimentación con distintas proporciones de



adición de cenizas. A continuación, se muestra una explicación completa de la interpretación de los datos. En ausencia de cenizas, la densidad seca máxima del suelo es de  $2,15 \text{ g/cm}^3$ . Al añadir un 10% de ceniza, esta densidad aumenta ligeramente a  $2.16 \text{ g/cm}^3$ . Con un 20% de ceniza, se observa un incremento adicional, alcanzando una densidad máxima de  $2.17 \text{ g/cm}^3$ . Sin embargo, la densidad cae a  $2,163 \text{ g/cm}^3$  cuando la concentración de cenizas se eleva al 30%. Según estos hallazgos, la suplementación con ceniza mejora la compactación del suelo hasta un umbral crítico (20%), más allá del cual la eficiencia de la compactación comienza a disminuir. Cuando el suelo está libre de cenizas, su nivel de humedad ideal es del 7,45%. Al incorporar un 10% de ceniza, esta humedad óptima disminuye a 7.25%. Con un 20% de ceniza, el contenido de humedad óptima aumenta ligeramente a 7.38%. Sin embargo, la humedad ideal vuelve a descender hasta el 7,25% con la adición de un 30% de ceniza. Estas variaciones muestran que la ceniza tiene un efecto muy pequeño (7,25% a 7,45%) sobre la cantidad de agua requerida para alcanzar la máxima densidad seca. El C.B.R. (California Bearing Ratio) al 100% del suelo sin ceniza es del 59.60%. Con un 10% de ceniza, el C.B.R. aumenta ligeramente a 60.00%. Al añadir un 20% de ceniza, el C.B.R. mejora significativamente a 62.10%. Sin embargo, con un 30% de ceniza, el C.B.R. disminuye a 58.90%. Esto indica que agregar ceniza hasta un 20% aumenta la capacidad de carga del suelo, pero agregar más ceniza comienza a tener un impacto perjudicial en este atributo. Sin cenizas, C.B.R. es de 44,00% al 95% del suelo compactado al 95% de su densidad máxima. Con un 10% de ceniza, el C.B.R. incrementa a 46.00%. Al añadir un 20% de ceniza, el C.B.R. sigue aumentando a 47.50%. Sin embargo, al aumentar la ceniza al 30%, el C.B.R. vuelve al valor inicial de 44.00%. Esto indica que, al igual que con el C.B.R. al 100%, la ceniza se usa para incrementar la capacidad de carga hasta cierto punto (20%), después del cual la eficacia disminuye.

#### 4.2. Discusión de resultados

En nuestra exploración, los hallazgos muestran que las propiedades físicas del suelo, según el sistema AASHTO, clasifican el suelo como A-1-a(0). Este tipo de suelo está compuesto principalmente por arena y grava, con un contenido mínimo de partículas finas que pasarán el tamiz N° 200. La estabilidad excepcional de esta composición y su capacidad de drenaje inherente la hacen perfecta para su uso en bases y subbases de pavimentación. Con un nivel de humedad del suelo del 8,80%, no hay mucha agua presente en comparación con el peso seco del suelo. Esta característica es típica de suelos granulares que tienen buenas propiedades de drenaje, ya que no retienen mucha humedad. Los límites de Atterberg, que proporcionan información sobre las propiedades plásticas del suelo, fueron los siguientes: el límite líquido se determinó en 22.50%, y el límite plástico en 20.63%. Estos valores ayudan a entender la plasticidad del suelo, siendo estos suelos no plásticos debido a que el índice de plasticidad es bajo. En otra exploración realizada por Longa & Sánchez (2021), las muestras de suelo que no fueron suplementadas con ceniza fueron categorizadas por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como SP-SM, lo que significa que son suelos de grava de grano fino. El índice de resistencia CBR para las muestras C-1 y C-2 fue 15,50 y 15,86, respectivamente, lo que indica una falta de flexibilidad en estas muestras. Por otro lado, se demostró que la adición de cenizas de carbón aumentaba significativamente el CBR. Al agregar un 15% de ceniza de carbón, el CBR de la muestra C-1 aumentó en 7,9, mientras que el CBR de la muestra C-2 aumentó en 8,1 bajo las mismas circunstancias de adición de ceniza. Estos hallazgos demuestran cómo agregar



cenizas de carbón al suelo puede mejorar en gran medida sus cualidades mecánicas, especialmente su capacidad de carga y resistencia a la compresión, que son cruciales para el uso eficaz del suelo en la construcción de pavimentos y carreteras.

En cuanto a las características mecánicas, la compactación en circunstancias reguladas permite que los suelos en estudio alcancen sus densidades secas máximas, que oscilan entre 2,16 y 2,17 g/cm<sup>3</sup>. Este parámetro es esencial para determinar la estabilidad del suelo y su capacidad de carga bajo cargas estructurales. La densidad seca máxima se puede alcanzar utilizando valores de humedad que estén entre 7,25% y 7,38%. Este rango de humedad es necesario durante el proceso de compactación para lograr la máxima eficiencia y densificación del suelo, asegurando así una base sólida y estable para los pavimentos. El California Bearing Ratio (CBR), que es una medida estándar de la capacidad de soporte de la pavimentación, muestra valores significativos en el rango de estudios. Se registraron valores entre 58.9% y 62.10% a una penetración del 100%, y entre 44.0% y 47.50% a una penetración del 95%. Para asegurar la longevidad y utilidad de los pavimentos construidos con estos materiales, estos hallazgos muestran que la pavimentación tiene una buena resistencia y capacidad de soporte bajo diversas situaciones de carga y compactación. Según la exploración de Garzón (2019), la pavimentación investigada es grava bien graduada sin limitación líquida ni limitación plástica. Las propiedades geomecánicas que se han reportado son las siguientes: 2,1 g/cm<sup>3</sup> para densidad seca, 7,7% para humedad ideal, 0,29% para materia orgánica y un CBR extraordinariamente alto del 78%. Estas cifras demuestran



las cualidades superiores del suelo, particularmente en lo que respecta a su resistencia a la compresión y capacidad de carga, para su uso en aplicaciones de ingeniería civil. Además, se descubrió que la proporción ideal para combinar cal y ceniza vegetal con tierra era 1:4 (Cal), con porcentajes de 2,25% y 10%, respectivamente. La densidad seca de la mezcla de 2.064 g/cm<sup>3</sup> muestra cómo estos componentes pueden utilizarse con cuidado para mejorar las características geotécnicas del suelo, en particular la estabilidad y la capacidad de carga.

Finalmente, se ha demostrado que hasta que el suelo alcance un nivel ideal del 20%, la adición de ceniza puede mejorar considerablemente algunas de sus cualidades mecánicas. Sin embargo, la capacidad de la ceniza para mantener el suelo tiende a perder parte de su eficacia después de esto. Este resultado enfatiza lo crucial que es calcular cuidadosamente las dosis correctas de ceniza dependiendo de las particularidades de la pavimentación y las necesidades del proyecto. Las ventajas de mejorar las cualidades geotécnicas del suelo, como la resistencia a la compresión y la capacidad de carga, parecen ser óptimas con un nivel de cenizas del 20%. Es importante tener en cuenta que la forma en que la ceniza funciona como estabilizador puede cambiar según una serie de variables, incluida la composición original del suelo, la calidad de la ceniza y las condiciones ambientales y de carga que encontrará el suelo. Como resultado, es mejor realizar investigaciones y pruebas especializadas para determinar la dosis de ceniza ideal en cada situación particular.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA.** El estudio sobre el mejoramiento del material granular con cenizas de carbón para su uso en sub base de pavimentación en Juliaca 2024 ha demostrado resultados prometedores. La adición de cenizas de carbón incrementa la densidad seca máxima del suelo, mejorando su estabilidad y capacidad de carga. Además, el contenido de humedad óptima se ajusta adecuadamente para lograr una compactación eficiente. Los valores del California Bearing Ratio (CBR) muestran un aumento en la resiliencia del suelo, especialmente bajo condiciones ideales de compactación y humedad. Estos hallazgos sugieren que el uso de cenizas de carbón es una estrategia efectiva para optimizar el rendimiento de las sub bases de pavimentos en la región, ofreciendo una solución sostenible y de alto rendimiento para las infraestructuras viales de Juliaca.

**SEGUNDA.** El análisis del suelo reveló características mecánicas cruciales. La densidad máxima seca es de  $2.15 \text{ g/cm}^3$ , alcanzable mediante compactación en condiciones controladas, mientras que la capacidad de humedad óptima es del 7.45%, necesario para lograr dicha densidad. Mantener esta humedad es esencial para una compactación efectiva y máxima capacidad de carga. El CBR es 59.6% a una penetración del 100%, indicando una buena resistencia bajo condiciones óptimas. A una penetración del 95%, el CBR disminuye a 44.0%, mostrando una resistencia ligeramente menor bajo condiciones menos favorables.



**TERCERA.** Se revela propiedades mecánicas cruciales para su estabilidad y capacidad de carga. La densidad máxima seca varía entre 2.16 y 2.17 g/cm<sup>3</sup>, alcanzable mediante compactación en condiciones controladas. Los contenidos de humedad óptima oscilan entre 7.25% y 7.38%, necesarios para lograr esta densidad. El California Bearing Ratio (CBR), una medida estándar de la capacidad de soporte del suelo, muestra valores significativos: entre 58.9% y 62.10% a una penetración del 100%, y entre 44.0% y 47.50% a una penetración del 95%, indicando buena resistencia y capacidad de soporte bajo diversas condiciones.

**CUARTA.** La adición de ceniza al suelo mejora algunas de sus propiedades mecánicas hasta un contenido óptimo del 20%. Más allá de este punto, la eficiencia de la ceniza en la estabilización de la pavimentación disminuye. Esta información es crucial para aplicaciones en edificación y diseño de infraestructura, donde se busca optimizar las propiedades del suelo para mejorar su desempeño.

## RECOMENDACIONES

- PRIMERA.** Basado en los resultados prometedores del estudio sobre el mejoramiento del material granular con cenizas de carbón para su utilización en sub base de pavimentación en Juliaca 2024, se recomienda la implementación gradual de esta técnica en proyectos piloto. Esto permitirá evaluar el desempeño a largo plazo y ajustar las proporciones de cenizas para optimizar la densidad seca máxima y la capacidad de carga en condiciones reales.
- SEGUNDA.** Dado que el análisis del suelo reveló una densidad máxima seca de  $2.15 \text{ g/cm}^3$  y un contenido de humedad óptima de 7.45%, se sugiere mantener estas condiciones durante el procedimiento de compactación de proyectos de edificación. Además, se recomienda monitorear el California Bearing Ratio (CBR) regularmente para garantizar que la resistencia del suelo se mantenga adecuada bajo diferentes condiciones de penetración.
- TERCERA.** Considerando las variaciones en la densidad máxima seca (entre  $2.16$  y  $2.17 \text{ g/cm}^3$ ) y el contenido de humedad óptima (entre 7.25% y 7.38%), se aconseja realizar estudios adicionales para determinar los rangos óptimos más precisos para diferentes tipos de suelos en Juliaca. Asimismo, se debe continuar evaluando el CBR para asegurar que la



pavimentación mantenga una buena capacidad de soporte bajo diversas condiciones.

**CUARTA.**

Las exploraciones demuestran que agregar ceniza puede mejorar las características mecánicas del suelo hasta un nivel ideal del 20%. Para preservar la capacidad de las cenizas de estabilizar el suelo, se aconseja no superar esta proporción. Esta limitación es esencial para optimizar el desempeño del suelo en aplicaciones de construcción e infraestructura, asegurando su estabilidad y capacidad de carga.



## REFERENCIAS

- Aguilar, A., & Marquez, P. (2021). Análisis de estabilización con emulsión asfáltica y con cemento portland para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular del pavimento. Obtenido de [https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/4650/CIV-T030\\_71436370\\_T%20%20%20AGUILA%20CAMPOS%20ALEX%20SCAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/4650/CIV-T030_71436370_T%20%20%20AGUILA%20CAMPOS%20ALEX%20SCAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Alvarez, A. (2021). Propuesta de mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular con la adición de 4 % y 6 % de residuos de construcción para su uso en afirmados según las eg-2013. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/27889/Alvarez%20Vasquez%2c%20Alexey.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Arispe, C., Yangali, J., & Guerrero, M. (2020). La investigación Científica. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/4310/1/LA%20INVESTIGACI%C3%93N%20CIENT%3%8DFICA.pdf>
- Barragan, C., & Cuervo, H. (2019). Análisis del comportamiento físico mecánico de la adición de ceniza de cascarilla de arroz de la variedad blanco a un suelo arenoso arcilloso. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/6488/AN%3%81LISIS%20DEL%20COMPORTAMIENTO%20FISICO->



MECANICO%20DE%20LA%20ADICI%C3%93N%20DE%20CENIZA%20  
0DE%20CASCARILLA%20DE%20ARROZ%20DE%20VARIEDAD%20B  
LANCO%20A%20UN%20SUELO%20ARENO%20ARCILLOS

Bueno, J., & Torre, H. (2019). Mejoramiento de la estabilidad del suelo con cenizas de carbón con fines de pavimentación en el barrio del Pinar, Independencia, Huaraz - 2018. Obtenido de [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/40554/Bueno\\_RJA-Torre\\_MHD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/40554/Bueno_RJA-Torre_MHD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Caceres, L. (2022). Evaluación de los materiales de las canteras para la conformación de la base granular de la carretera Arapa, Azángaro, Puno, 2022. Obtenido de [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/106152/Caceres\\_YLL-SD.pdf?sequence=1](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/106152/Caceres_YLL-SD.pdf?sequence=1)

Canaza, J. (2020). Evaluación de las propiedades de los materiales de base y sub base para pavimentos del distrito de José Luis Bustamante y Rivero. Obtenido de [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9034/4/IV\\_FIN\\_105\\_TI\\_Canaza\\_Canaza\\_2020.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9034/4/IV_FIN_105_TI_Canaza_Canaza_2020.pdf)

Castro, A. (2015). Recolección de datos. Obtenido de <https://melpe025.files.wordpress.com/2015/03/lasfichas-amycastro14215.pdf>



Castro, J., & Gómez, L. (2023). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. 25(75). doi:<https://doi.org/10.14483/22487638.19171>

Cubas, K. (2016). evaluación de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y aplicación en carreteras no pavimentadas. Obtenido de [https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/3134/20170605165810XaaY\\_1000193270\\_5606\\_2040\\_152727574.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/3134/20170605165810XaaY_1000193270_5606_2040_152727574.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Espinosa, L. (2019). Estabilización de suelo mediante aditivos alternativos. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/89d8dfc8-3a4f-4943-b82f-6026e7a6e4e3/content>

Galicia, L. (2017). Validez de contenido por juicio de expertos: propuesta de una herramienta virtual. doi:<http://dx.doi.org/10.32870/Ap.v9n2.993>

García, J., Reding, A., & López, J. (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/iem/v2n8/v2n8a7.pdf>

Garzón, N. (2019). Análisis geomecánico de un material granular estabilizado con ceniza vegetal y cal; para su uso en las vías terciarias del corregimiento de caño chiquit o de caño chiquito en Paz de Ariporaz de



Ariporo, Casanar o, Casanare. Obtenido de [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1524&context=ing\\_civil](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1524&context=ing_civil)

Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*. Obtenido de <http://recimundo.com/index.php/es/article/view/860>

Gutiérrez, P., Díaz, L., & Guzmán, M. (2009). Elementos de Diseño de Experimentos. Obtenido de <http://www.seraace.com/files/LIBRO-DE-ELEMENTOS-DE-DISE-O-DE-EXPERIMENTOS-1.pdf>

Itziar, M., & Vizcarra, A. (2014). La observación como estrategia de investigación para construir contextos de aprendizaje y fomentar procesos participativos. *17(1)*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/706/70629509009.pdf>

Longa , K., & Sánchez , D. (2021). Estabilización con cenizas de carbón para mejoramiento de subrasante del Asentamiento Humano, Ciudad del Niño, distrito de Castilla, Piura, 2021. Obtenido de [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/80387/Longa\\_SKI-S%C3%A1nchez\\_PDL-D-SD.pdf?sequence=1](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/80387/Longa_SKI-S%C3%A1nchez_PDL-D-SD.pdf?sequence=1)

Pantoja, M., Arciniegas, O., & Álvarez, S. (2022). Desarrollo de una investigación a través de un plan de estudio. Obtenido de



<https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/download/2649/257>

5/

Pita, S. (2002). Investigación cuantitativa y cualitativa. Obtenido de <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/355/course/section/154/Tema%25208.pdf>

Quero, M. (2010). Confiabilidad y coeficiente Alpha de Cronbach. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/993/99315569010.pdf>

Rodríguez, E., & Rondón, H. (2016). Influencia de la inclusión de desecho de pvc sobre el cbr de un material granular tipo subbase. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 5(9). Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v5n9/v5n9a03.pdf>

Rodriguez, F. (2007). Generalidades acerca de las técnicas de investigación cuantitativa. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4942053.pdf>

Villanueva, C. (2023). Evaluación de la ceniza de carbón como aditivo estabilizador en suelos arcillosos con fines de pavimentación. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/10490/Villanueva%20Meza%20Cristian%20Deyvi.pdf?sequence=15>



# ANEXOS



### Anexo 01. Matriz de consistencia

TITULO: MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	OPERALIZACION DE VARIABLES:	INDICADORES	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN
¿Cuánto es el mejoramiento del material granular con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024?	Determinar el mejoramiento del material granular con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024	El material granular mejorara positivamente en con dosificaciones de cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024.	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b> Cenizas de carbón	10% de cenizas de carbón. 20% de cenizas de carbón. 30% de cenizas de carbón	<b>Enfoque de la investigación:</b> Cuantitativo <b>Método(s) de la investigación:</b> Inductivo
<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECIFICAS</b>	Dosificación de cenizas.		<b>Tipo de la investigación:</b> Aplicada
¿Cuánto son las propiedades físicas y mecánicas del material granular para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024?	Encontrar las propiedades físicas y mecánicas del material granular sin cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024	La propiedades físicas y mecánicas del material granular son mínimos sin cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024		Clasificación por AASHTO Contenido de humedad Limite liquido Limite plástico Índice de plasticidad	<b>Nivel de la investigación:</b> Descriptiva – correlacional <b>Diseño de la investigación:</b> Experimental
¿Cuánto son las propiedades físicas y mecánicas del material granular con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024?	Determinar las propiedades físicas y mecánicas del material granular con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024	La propiedades físicas y mecánicas del material granular son superiores con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE.</b> Mejoramiento de material granular		<b>Población</b> Materiales granulares de sub base
¿Cuánto mejora las propiedades físicas y mecánicas del material granular con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024?	Comparar las propiedades físicas y mecánicas del material granular sin y con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024	Las propiedades físicas y mecánicas del material granular mejoro de forma positiva con cenizas de carbón para el uso en sub base de pavimentos, Juliaca 2024	<b>DIMENSIONES</b> Propiedades físicas  Propiedades mecánicas	Máxima densidad seca Contenido de humedad optima C.B.R. 01 al 100% C.B.R. 01 al 95%	<b>Muestra</b> 4 ensayos de cbr <b>Técnicas</b> Observación directa <b>Instrumentos</b> Fichas de observación



### Anexo 04. Fichas de evidencias del proceso de recolección de datos



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

**TESIS** : MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024

**SOLICITANTE** : Bach. ALEX YONY ROQUE APAZA

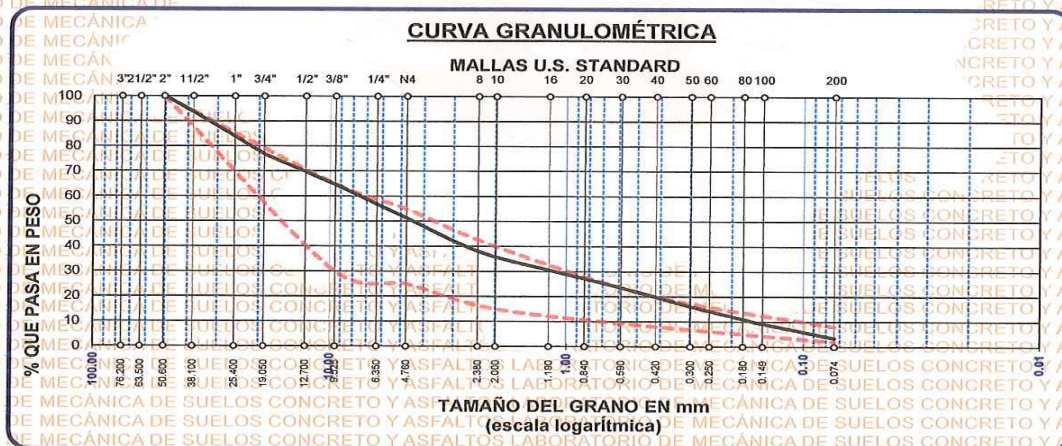
**CANTERA** : CANTERA TAPARACHI 50% - CANTERA ISLA 50%

**MUESTRA** : SUB BASE

**LUGAR** : DISTRITO DE JULIACA

**FECHA** : 07 DE AGOSTO DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. I.G.	TAMAÑO MÁXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200					100%	P.I.= 4500.00
2 1/2"	63.500						P.L.= 4344.62
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00		P.P.= 155.38
1 1/2"	38.100						% W = 8.80
1"	25.400						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.050	1038.60	23.08	23.08	76.92		L.L.= 22.50
1/2"	12.700					30 - 65%	L.P.= 20.63
3/8"	9.525	552.47	12.28	35.36	64.64		I.P.= 1.87
1/4"	6.350					25 - 55%	CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.760	598.60	13.30	48.66	51.34		D10= 0.168 Cu= 46.8
No8	2.380	596.30	13.25	61.91	38.09		D30= 1.138 Cc= 0.98
No10	2.000					15 - 40%	D60= 7.86
No16	1.190	337.10	7.49	69.40	30.60		CLASIFICACIÓN:
No20	0.840						I.G. =
No30	0.590	312.50	6.94	76.35	23.65		SUSCS : GW
No40	0.420					8 - 20%	ASSTHO : A-1-a (0)
No50	0.300	340.15	7.56	83.90	16.10		OBSERVACIONES:
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149	311.50	6.92	90.83	9.17		
No200	0.074	257.40	5.72	96.55	3.45		
BASE		155.38	19.70	116.25	-16.25		
TOTAL		4500.00	100.00				
% PERDIDA		3.45					



UANCV - FICP  
CAP INGENIERÍA CIVIL  
Mgtr. ARMANDO YANATORRES  
CHP 100287

B. N° 006-00306710



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



**TESIS** : MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024  
**SOLICITANTE** : Bach. ALEX YONY ROQUE APAZA  
**CANTERA** : CANTERA TAPARACHI 50% - CANTERA ISLA 50%  
**MUESTRA** : SUB BASE  
**LUGAR** : DISTRITO DE JULIACA  
**FECHA** : 07 DE AGOSTO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	172.45
SUELO SECO + TARRO	gr	159.68
PESO DEL TARRO	gr	14.60
PESO DEL AGUA	gr	12.77
PESO DEL SUELO SECO	gr	145.08
HUMEDAD %	%	8.80

### LÍMITE LIQUIDO - LÍMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

#### LÍMITE LIQUIDO

#### LÍMITE PLASTICO

TARRO N°		A	B
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	42.63	45.36
SUELO SECO + TARRO	gr	39.74	41.55
PESO DEL TARRO	gr	26.98	24.69
PESO DEL AGUA	gr	2.89	3.81
PESO DEL SUELO SECO	gr	12.76	16.86
HUMEDAD %	%	22.65	22.60
N° DE GOLPES		24	24

7	8
24.00	22.49
22.96	21.71
17.89	17.95
1.04	0.78
5.07	3.76
20.51	20.74

**LÍMITE LIQUIDO % : 22.50      LÍMITE PLASTICO % : 20.63**

**INDICE PLASTICO % : 01.87**

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UANCV - FICP  
 CAP INGENIERÍA CIVIL  
 Mgr. ARMANDO J. MATOS  
 CIP 103297

B. N° 006-00306710



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

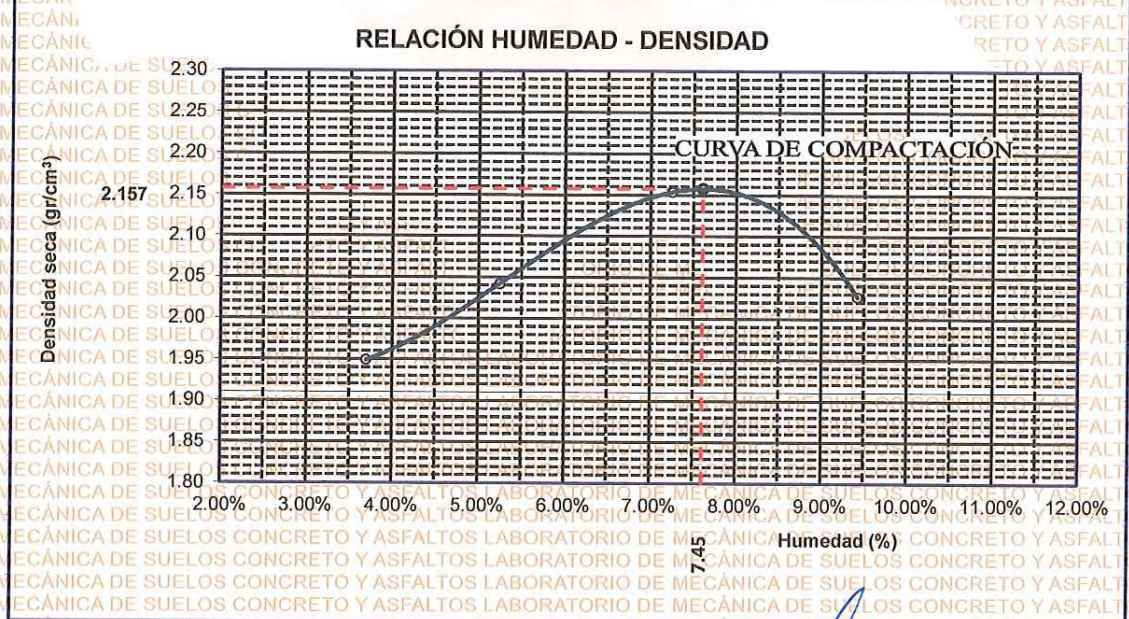
**TESIS** : MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024  
**SOLICITANTE** : Bach. ALEX YONY ROQUE APAZA  
**CANTERA** : CANTERA TAPARACHI 50% - CANTERA ISLA 50%  
**MUESTRA** : SUB BASE  
**LUGAR** : DISTRITO DE JULIACA  
**FECHA** : 09 DE AGOSTO DEL 2024

**MOLDE No** : 1 **VOLUMEN DEL MOLDE** : 2124 cm<sup>3</sup>  
**No DE CAPAS** : 5 **GOLPES POR CAPA** : 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11003	11274	11616	11420
Peso del Molde	gr.	6710	6710	6710	6710
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4293	4564	4906	4710
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2.02	2.15	2.31	2.22

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	193.60	185.70	250.57	248.20	216.30	180.20	183.60	185.10
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	188.50	181.06	241.00	238.10	205.00	172.00	171.99	174.00
Peso del Agua	gr.	5.10	4.64	9.57	10.10	11.30	8.20	11.61	11.10
Peso de la Capsula	gr.	51.20	55.00	53.20	51.10	54.20	55.10	51.70	53.30
Peso del Suelo Seco	gr.	137.30	126.06	187.80	187.00	150.80	116.90	120.29	120.70
% de Humedad	%	3.71%	3.68%	5.10%	5.40%	7.49%	7.01%	9.65%	9.20%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	3.70%		5.25%		7.25%		9.42%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.949		2.042		2.154		2.027	

**METODO:** ASTM D - 1557 MODIFICADO "C" **MAXIMA DENSIDAD SECA** : 2.157 gr/cm<sup>3</sup>  
**HUMEDAD OPTIMA** : 7.45



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS DE LA UANCV FICP

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
Mg. ARMANDO TORRES  
CIP 105-07

B. N° 006-00306710



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



### RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

**TESIS** : MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024  
**SOLICITANTE** : Bach. ALEX YONY ROQUE APAZA  
**CANETERA** : CANTERA TAPARACHI 50% - CANTERA ISLA 50%  
**MUESTRA** : SUB BASE  
**LUGAR** : DISTRITO DE JULIACA  
**FECHA** : 09 DE AGOSTO DEL 2024

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

<b>Peso Suelo Humedo + Molde</b>	gr.	10390	10079	10617	10421	10807	10505
<b>Peso del Molde</b>	gr.	6795	6795	6744	6744	6785	6785
<b>Peso del Suelo Humedo</b>	gr.	3595	3284	3873	3677	4022	3720
<b>Volumen del Suelo</b>	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
<b>Densidad del Suelo Humedo</b>	gr/cc.	1.708	1.560	1.843	1.749	1.918	1.774

<b>Capsula No</b>	No																		
<b>Suelo Humedo + Capsula</b>	gr.	180.26	186.30	185.30	178.50	177.30	193.60	192.30	189.40	192.30									
<b>Peso del Suelo Seco + Capsula</b>	gr.	156.55	161.00	169.66	156.33	155.00	177.18	170.00	167.22	175.33									
<b>Peso del Agua</b>	gr.	23.71	25.30	15.64	22.17	22.30	16.42	22.30	22.18	16.97									
<b>Peso de la Capsula</b>	gr.	38.50	38.60	37.10	37.15	38.06	39.66	37.55	36.60	37.20									
<b>Peso del Suelo Seco</b>	gr.	118.05	122.40	132.56	119.18	116.94	137.52	132.45	130.62	138.13									
<b>% de Humedad</b>	%	20.08%	20.67%	11.80%	18.60%	19.07%	11.94%	16.84%	16.98%	12.29%									
<b>Promedio de Humedad</b>	%	20.38%			11.80%			18.84%			11.94%			16.91%			12.29%		
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	gr/cc.	1.419			1.396			1.551			1.563			1.641			1.580		

### EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
5/08/2024	10:00: a.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
6/08/2024	10:00: a.m.	24:00:00	0.51	0.01	0.01	0.50	0.01	0.01	0.45	0.01	0.01
7/08/2024	10:00: a.m.	48:00:00	0.56	0.01	0.01	0.53	0.01	0.01	0.50	0.01	0.01
8/08/2024	10:00: a.m.	72:00:00	0.62	0.02	0.01	0.58	0.01	0.01	0.53	0.01	0.01
9/08/2024	10:00: a.m.	96:00:00	0.72	0.02	0.02	0.62	0.02	0.01	0.59	0.01	0.01

### PENETRACION

Penetracion mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		20.00	110.0	5.6		55.10	259.0	13.1		88.00	399	20.2	
1.27	01:00		43.20	208.5	10.5		75.60	346.0	17.5		128.40	570	28.8	
1.91	01:30		55.00	258.6	13.1		92.50	417.7	21.1		155.00	683	34.5	
2.54	02:00	70.31	63.50	294.7	14.9		110.40	493.7	25.0		178.40	782	39.5	
3.81	03:00		79.30	361.7	18.3		132.50	587.5	29.7		220.40	961	48.6	
5.09	04:00	105.00	88.20	399.5	20.2		151.00	668.0	33.7		256.30	1113	56.3	
6.35	05:00		95.10	428.8	21.7		165.00	725.5	36.7		292.30	1266	64.0	
7.62	06:00		102.30	459.3	23.2		179.50	787.0	39.8		315.20	1363	68.9	
8.84	07:00													
10.16	08:00													

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

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
M.S. C.A. DEFAJURA  
Mg. ARMANDO YAN TORRES  
C.I.F. 100.007

B. N° 006-00306710

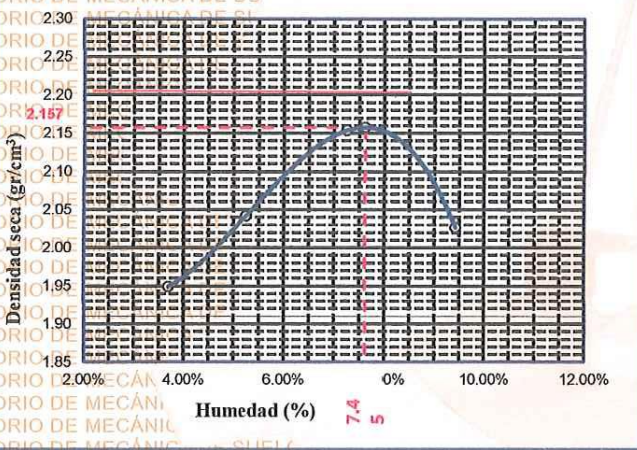


### UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

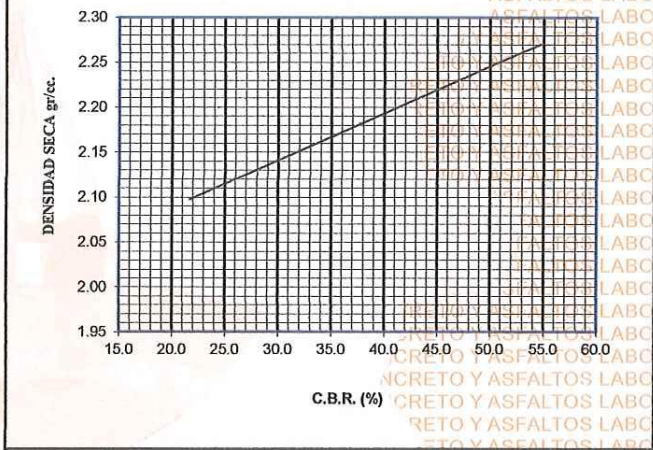


<b>TESIS</b>	: MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>	
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. ALEX YONY ROQUE APAZA	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b>	2.157
<b>CANTERA</b>	: CANTERA TAPARACHI 50% - CANTERA ISLA 50%	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>	7.45
<b>MUESTRA</b>	: SUB BASE	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b>	59.60
<b>LUGAR</b>	: DISTRITO DE JULIACA	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b>	44.00
<b>FECHA</b>	: 09 DE AGOSTO DEL 2024	<b>CLASIFICACIÓN</b>	: A-1-a (0)
		<b>AASHTO</b>	: A-1-a (0)
		<b>EMBEBIDO</b>	: 4 DIAS

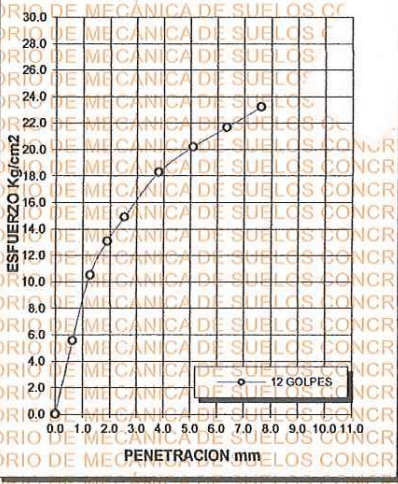
#### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



#### RELACIÓN CBR - DENSIDAD SECA

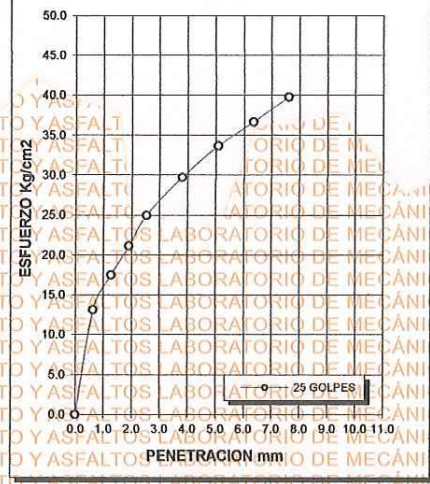


#### 12 GOLPES



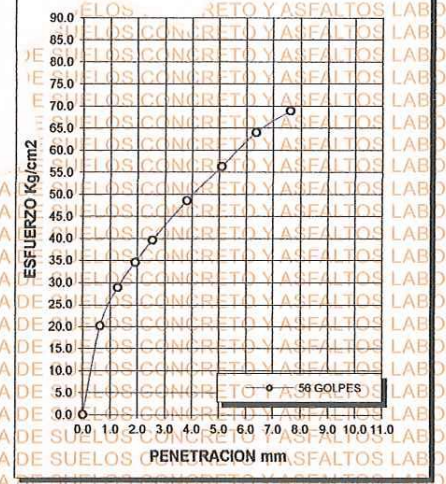
CBR 21.2

#### 25 GOLPES



CBR 35.5

#### 56 GOLPES



CBR 56.2

UANCV - FICP  
CAP INGENIERIA CIVIL

M.S.C.A. JEFATURA  
LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA

ING. ANITA TORRES  
CIP 100007

B. N° 006-00306710



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

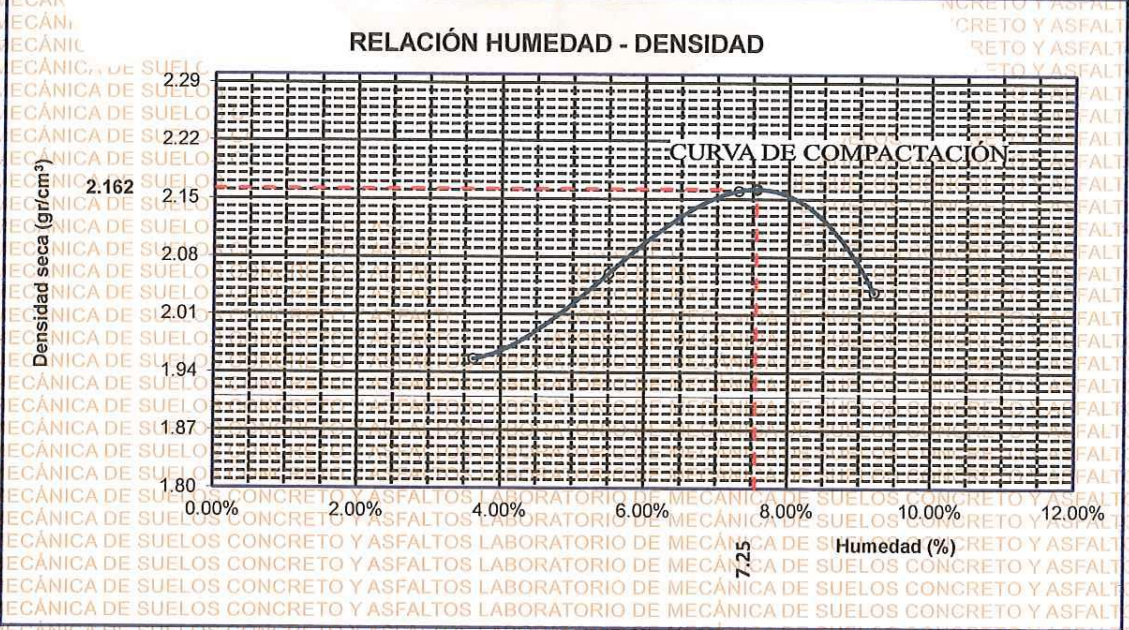
**TESIS** : MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024  
**SOLICITANTE** : Bach. ALEX YONY ROQUE APAZA  
**CANTERA** : CANTERA TAPARACHI 50% - CANTERA ISLA 50% + 10% CENIZA DE CARBÓN  
**MUESTRA** : SUB BASE  
**LUGAR** : DISTRITO DE JULIACA  
**FECHA** : 09 DE AGOSTO DEL 2024

<b>MOLDE No</b>	1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	: 2124 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	: 56 golpes

<b>Peso Suelo Húmedo + Molde</b>	gr.	11015	11325	11632	11435
<b>Peso del Molde</b>	gr.	6710	6710	6710	6710
<b>Peso del Suelo Húmedo</b>	gr/cm <sup>3</sup> .	4305	4615	4922	4725
<b>Densidad del Suelo Húmedo</b>	gr/cm <sup>3</sup> .	2.03	2.17	2.32	2.22

Capsula No	No	SUP.		INF.		SUP.		INF.	
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
<b>Suelo Húmedo + Capsula</b>		205.60	203.11	198.50	201.20	210.30	208.50	206.30	204.50
<b>Peso del Suelo Seco + Capsula</b>		200.10	198.00	191.11	193.20	199.57	197.62	193.20	191.85
<b>Peso del Agua</b>		5.50	5.11	7.39	8.00	10.73	10.88	13.10	12.65
<b>Peso de la Capsula</b>		52.00	53.20	51.90	52.62	51.50	49.80	53.20	52.00
<b>Peso del Suelo Seco</b>		148.10	144.80	139.21	140.58	148.07	147.82	140.00	139.85
<b>% de Humedad</b>	%	3.71%	3.53%	5.31%	5.69%	7.25%	7.36%	9.36%	9.05%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	3.62%		5.50%		7.30%		9.20%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.956		2.060		2.160		2.037	

<b>METODO:</b> ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b> : 2.16 gr/cm <sup>3</sup>
	<b>HUMEDAD OPTIMA</b> : 7.25%



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



UANCV FICP  
CAP INGENIERÍA CIVIL  
Mg. ARYAN GUAYANA TORRES  
CIP 163267

B. N° 006-00306710



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



### RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

**TESIS:** MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024  
**SOLICITANTE:** Bach. ALEX YONY ROQUE APAZA  
**CANTERA:** CANTERA TAPARACHI 50% - CANTERA ISLA 50% + 10% CENIZA DE CARBÓN  
**MUESTRA:** SUB BASE  
**LUGAR:** DISTRITO DE JULIACA  
**FECHA:** 09 DE AGOSTO DEL 2024

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

<b>Peso Suelo Humedo + Molde</b>	gr.	11668	11245	11818	11620	11889	11695
<b>Peso del Molde</b>	gr.	6795	6795	6744	6744	6785	6785
<b>Peso del Suelo Humedo</b>	gr.	4873	4450	5074	4876	5104	4910
<b>Volumen del Suelo</b>	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
<b>Densidad del Suelo Humedo</b>	gr/cc.	2.315	2.114	2.414	2.320	2.435	2.342

<b>Capcula No</b>	No										
<b>Suelo Humedo + Capsula</b>	gr.	185.60	187.50	256.30	192.30	194.20	289.60	186.50	188.30	228.30	
<b>Peso del Suelo Seco + Capsula</b>	gr.	160.02	162.00	232.00	168.50	169.30	261.10	165.66	167.49	207.44	
<b>Peso del Agua</b>	gr.	25.58	25.50	24.30	23.80	24.90	28.50	20.84	20.81	20.86	
<b>Peso de la Capsula</b>	gr.	36.50	37.00	36.10	37.50	37.00	36.88	38.10	37.40	38.20	
<b>Peso del Suelo Seco</b>	gr.	123.52	125.00	195.90	131.00	132.30	224.22	127.56	130.09	169.24	
<b>% de Humedad</b>	%	20.71%	20.40%	12.40%	18.17%	18.82%	12.71%	16.34%	16.00%	12.33%	
<b>Promedio de Humedad</b>	%	20.55%		12.40%	18.49%		12.71%	16.17%		12.33%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	gr/cc.	1.920		1.881	2.037		2.058	2.096		2.085	

### EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
5/08/2024	08:40: a.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
6/08/2024	08:40: a.m.	24:00:00	0.58	0.01	0.01	0.55	0.01	0.01	0.46	0.01	0.01
7/08/2024	08:40: a.m.	48:00:00	0.72	0.02	0.02	0.58	0.01	0.01	0.53	0.01	0.01
8/08/2024	08:40: a.m.	72:00:00	0.85	0.02	0.02	0.63	0.02	0.01	0.57	0.01	0.01
9/08/2024	08:40: a.m.	96:00:00	0.95	0.02	0.02	0.66	0.02	0.01	0.60	0.02	0.01

### PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		30.00	152.5	7.7		76.20	348.6	17.6		97.20	438	22.1	
1.27	01:00		53.10	250.5	12.7		105.60	473.3	23.9		139.10	616	31.1	
1.91	01:30		66.00	305.3	15.4		126.10	560.4	28.3		166.40	731	37.0	
2.54	02:00	70.31	73.00	335.0	16.9		144.60	638.9	32.3		190.70	835	42.2	
3.81	03:00		89.10	403.3	20.4		163.70	719.9	36.4		228.10	993	50.2	
5.09	04:00	105.00	98.10	441.5	22.3		180.10	789.6	39.9		267.10	1159	58.6	
6.35	05:00		105.10	471.2	23.8		196.20	857.9	43.4		303.10	1312	66.3	
7.62	06:00		112.10	500.9	25.3		211.20	921.6	46.6		333.20	1439	72.8	
8.84	07:00													
10.16	08:00													

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

UANCV - FICP  
CAP INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO M.S.C.A.  
ING. ARMANDO YANATORRES  
CIP 102147

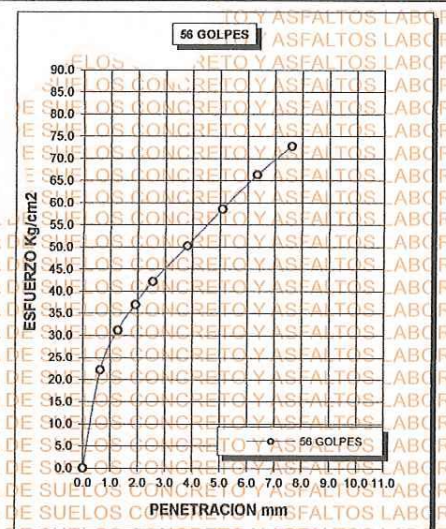
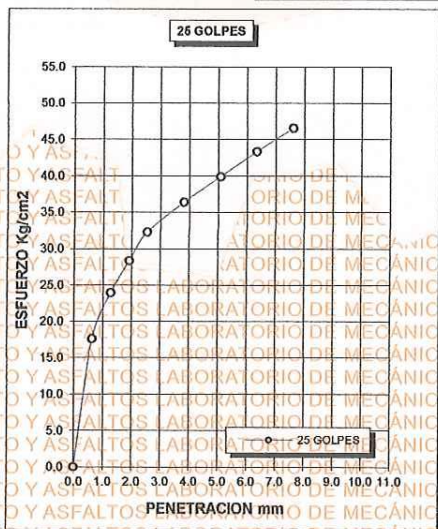
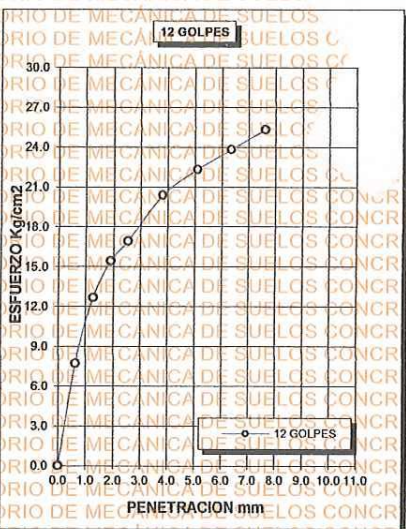
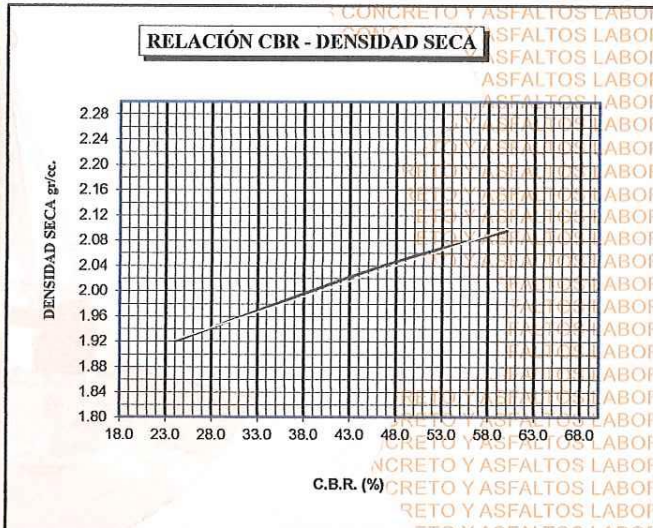
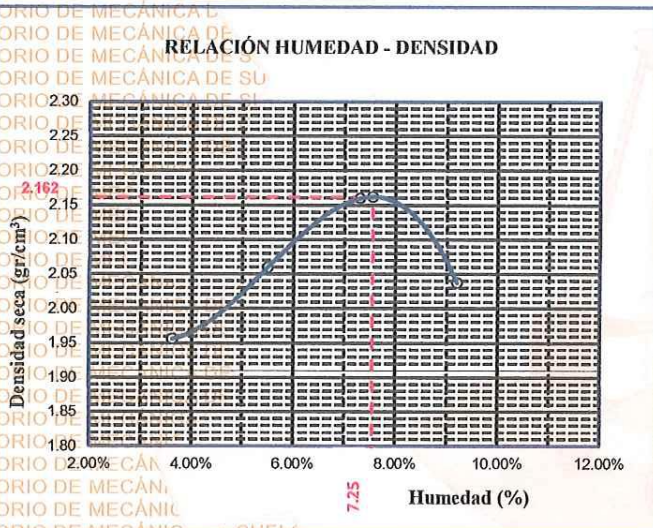
B. N° 006-00306710



**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>TESIS</b>	: MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. ALEX YONY ROQUE APAZA	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>CANTERA</b>	: TAPARACHI 50% - ISLA 50% + 10% CENIZA DE CARBÓN	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>
<b>MUESTRA</b>	: SUB BASE	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b>
<b>LUGAR</b>	: DISTRITO DE JULIACA	<b>CLASIFICACIÓN</b>
<b>FECHA</b>	: 09 DE AGOSTO DEL 2024	<b>AASHTO</b>
		<b>EMBEBIDO</b>



UANCV FICP  
CAP INGENIERÍA CIVIL  
Mg. ARMANDO YAN TORRES  
CIP 144-07

B. N° 006-00306710



**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

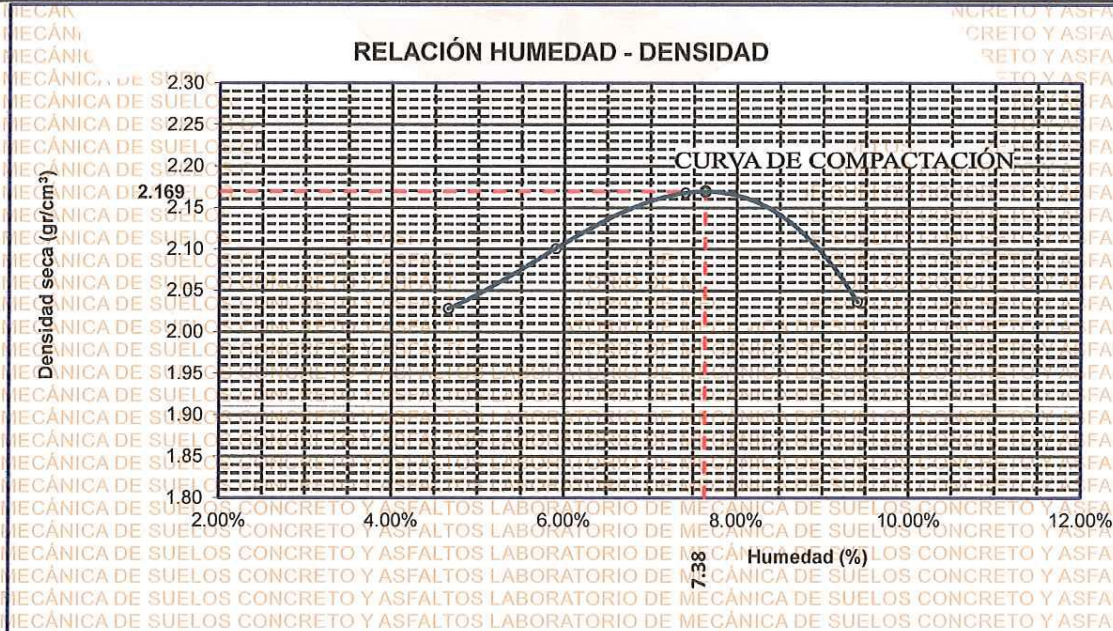
**TESIS** : MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024  
**SOLICITANTE** : Bach. ALEX YONY ROQUE APAZA  
**CANTERA** : CANTERA TAPARACHI 50% - CANTERA ISLA 50% + 20% CENIZA DE CARBÓN  
**MUESTRA** : SUB BASE  
**LUGAR** : DISTRITO DE JULIACA  
**FECHA** : 09 DE AGOSTO DEL 2024

**MOLDE No** : 1 **VOLUMEN DEL MOLDE** : 2124 cm<sup>3</sup>  
**No DE CAPAS** : 5 **GOLPES POR CAPA** : 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11218	11435	11655	11442
Peso del Molde	gr.	6710	6710	6710	6710
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4508	4725	4945	4732
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2.12	2.22	2.33	2.23

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	196.30	201.50	188.57	190.20	185.66	183.74	193.30	191.40
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	190.00	194.87	181.00	182.31	176.02	175.00	181.45	179.25
Peso del Agua	gr.	6.30	6.63	7.57	7.89	9.64	8.74	11.85	12.15
Peso de la Capsula	gr.	53.20	54.10	51.20	50.20	50.33	52.40	51.70	53.60
Peso del Suelo Seco	gr.	136.80	140.77	129.80	132.11	125.69	122.60	129.75	125.65
% de Humedad	%	4.61%	4.71%	5.83%	5.97%	7.67%	7.13%	9.13%	9.67%
<b>Promedio de Humedad</b>	<b>%</b>	<b>4.66%</b>		<b>5.90%</b>		<b>7.40%</b>		<b>9.40%</b>	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	<b>%</b>	<b>2.028</b>		<b>2.101</b>		<b>2.168</b>		<b>2.036</b>	

**METODO** : ASTM D - 1557 **MAXIMA DENSIDAD SECA** : 2.17 gr/cm<sup>3</sup>  
**MODIFICADO "C"** **HUMEDAD OPTIMA** : 7.38%



**OBSERVACIONES:** LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

MSc. ARMA D. YAN TORRES  
 CAP INGENIERIA CIVIL  
 CIP 180287  
 B. N° 006-00306710



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



### RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

**TESIS:** MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024

**SOLICITANTE:** Bach. ALEX YONY ROQUE APAZA

**CANTERA:** CANTERA TAPARACHI 50% CANTERA ISLA 50% + 20% CENIZA DE CARBÓN

**MUESTRA:** SUB BASE

**LUGAR:** DISTRITO DE JULIACA

**FECHA:** 09 DE AGOSTO DEL 2024

MOLDE No	III				II			
	5				25			
No. DE CAPAS	12				56			
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	SATURADO				SIN SATURAR			
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO		SIN SATURAR		SATURADO		SIN SATURAR	
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11409	11098	11691	11438	11980	11928	
Peso del Molde	gr.	6795	6795	6744	6744	6785	6785	
Peso del Suelo Humedo	gr.	4614	4303	4947	4694	5195	5143	
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50	
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.192	2.044	2.354	2.233	2.478	2.453	

Capsula No	No	I			II			III		
		185.60	190.00	263.20	188.50	184.50	271.20	192.30	195.70	248.40
Suelo Humedo + Capsula	gr.	162.15	165.00	239.18	166.16	162.04	245.55	171.22	175.00	224.30
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	23.45	25.00	24.02	22.34	22.46	25.65	21.08	20.70	24.16
Peso del Agua	gr.	39.10	38.00	38.11	36.12	35.20	35.55	36.17	38.40	36.90
Peso de la Capsula	gr.	123.05	127.00	201.07	130.04	126.84	210.00	135.05	136.60	187.40
Peso del Suelo Seco	gr.	19.09%	19.69%	11.95%	17.18%	17.71%	12.21%	15.61%	15.15%	12.86%
% de Humedad	%	19.37%	11.95%	17.44%	12.21%	15.38%	12.86%			
Promedio de Humedad	%	1.836	1.826	2.004	1.990	2.148	2.174			
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.									

### EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
5/08/2024	09:00: a.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
6/08/2024	09:00: a.m.	24:00:00	0.49	0.01	0.01	0.45	0.01	0.01	0.44	0.01	0.01
7/08/2024	09:00: a.m.	48:00:00	0.56	0.01	0.01	0.52	0.01	0.01	0.50	0.01	0.01
8/08/2024	09:00: a.m.	72:00:00	0.63	0.02	0.01	0.58	0.01	0.01	0.55	0.01	0.01
9/08/2024	09:00: a.m.	96:00:00	0.73	0.02	0.02	0.65	0.02	0.01	0.59	0.01	0.01

### PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		48.10	229.3	11.6		84.60	384.2	19.4		90.20	408	20.6	
1.27	01:00		71.40	328.2	16.6		114.20	509.8	25.8		130.80	580	29.3	
1.91	01:30		84.20	382.5	19.3		132.50	587.5	29.7		168.50	719	36.3	
2.54	02:00	70.31	95.00	428.4	21.7		149.80	660.9	33.4		197.70	884	44.7	
3.81	03:00		115.40	514.9	26.0		172.40	756.9	38.3		238.50	1037	52.4	
5.09	04:00	105.00	131.20	582.0	29.4		192.80	843.5	42.6		271.50	1177	59.5	
6.35	05:00		145.20	641.4	32.4		208.70	910.9	46.0		294.60	1276	64.5	
7.62	06:00		158.20	696.6	35.2		220.10	950.3	48.5		312.40	1351	68.3	
8.84	07:00													
10.16	08:00													

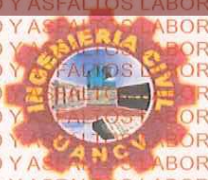
OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UANCV - FICP  
 CAP INGENIERIA CIVIL  
 MGR. ARMANDO TORRES  
 JULIACA

B: N° 006-00306710

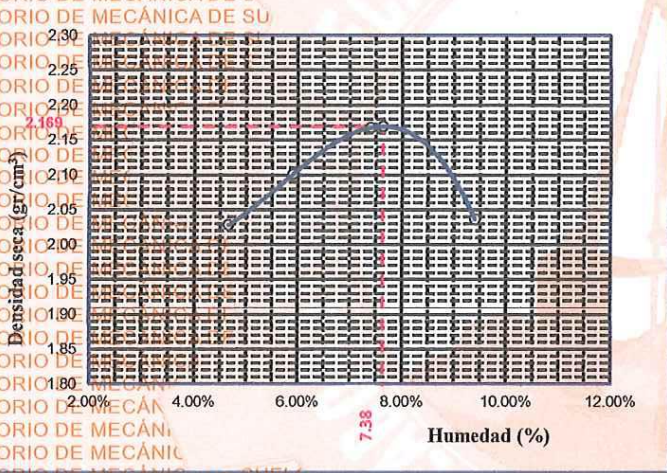


### UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

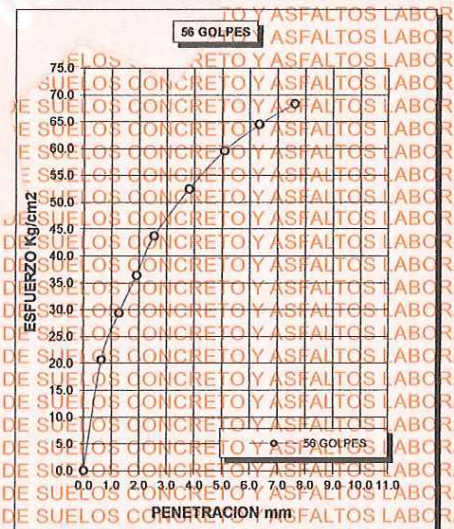
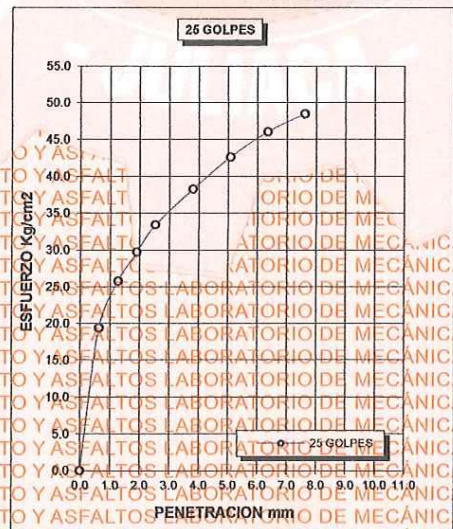
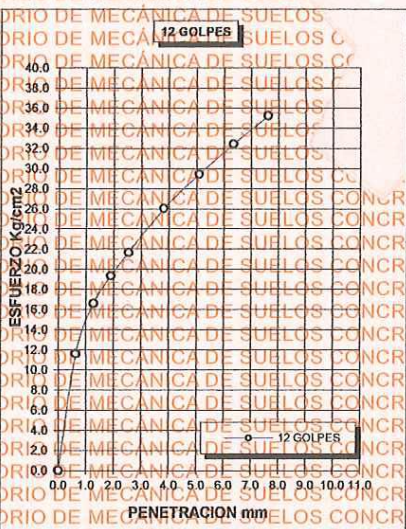
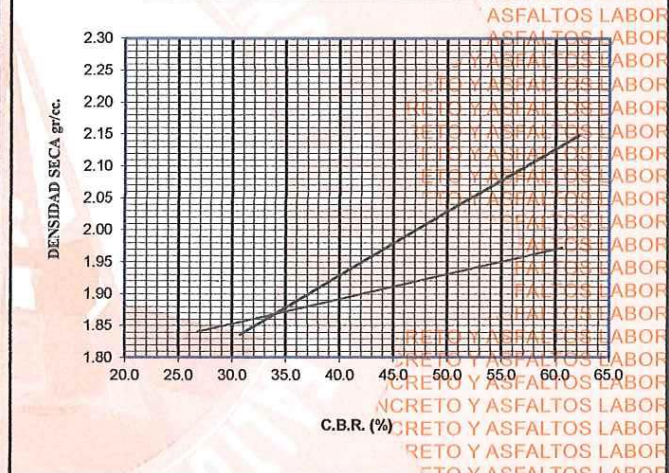


<b>TESIS</b>	MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN</b>	ASTM D1557-91
<b>SOLICITANTE</b>	Bach. ALEX YONY ROQUE APAZA	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.17
<b>CANTERA</b>	TAPARACHI 50%- ISLA 50%- 20% CENIZA DE CARBÓN	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>	7.38%
<b>MUESTRA</b>	SUB BASE	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b>	62.10
<b>LUGAR</b>	DISTRITO DE JULIACA RE	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b>	47.50
<b>FECHA</b>	09 DE AGOSTO DEL 2024	<b>CLASIFICACIÓN</b>	NICA GW
		<b>AASHTO</b>	A-1-a (0)
		<b>EMBEBIDO</b>	4 DIAS

#### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



#### RELACIÓN CBR - DENSIDAD SECA



UANCV - IICP  
CAP INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
JULIACA

B: N° 006-00306710



**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

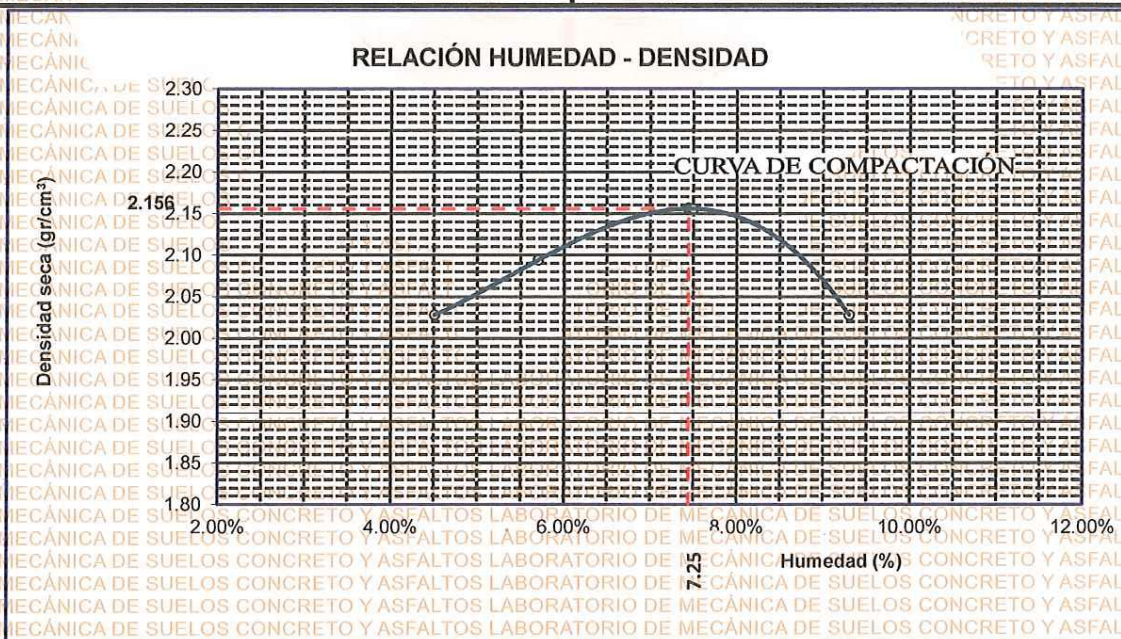
**TESIS** : MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024  
**SOLICITANTE** : Bach. ALEX YONY ROQUE APAZA  
**CANTERA MUESTRA** : CANTERA TAPARACHI 50% - CANTERA ISLA 50% + 30% CENIZA DE CARBÓN  
**LUGAR** : SUB BASE  
**LUGAR** : DISTRITO DE JULIACA  
**FECHA** : 09 DE AGOSTO DEL 2024

**MOLDE No** : 1 **VOLUMEN DEL MOLDE** : 2124 cm<sup>3</sup>  
**No DE CAPAS** : 5 **GOLPES POR CAPA** : 56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	11212	11411	11632	11418
Peso del Molde	gr.	6710	6710	6710	6710
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4502	4701	4922	4708
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2.12	2.21	2.32	2.22

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	186.50	184.10	187.20	185.18	188.30	192.30	190.10	183.30
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	181.00	178.00	180.00	178.00	179.10	182.17	178.00	172.35
Peso del Agua	gr.	5.50	6.10	7.20	7.18	9.20	10.13	12.10	10.95
Peso de la Capsula	gr.	50.20	51.30	52.30	53.60	50.16	53.30	50.71	52.00
Peso del Suelo Seco	gr.	130.80	126.70	127.70	124.40	128.94	128.87	127.29	120.35
% de Humedad	%	4.20%	4.81%	5.64%	5.77%	7.14%	7.86%	9.51%	9.10%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	4.51%		5.70%		7.50%		9.30%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	2.028		2.094		2.156		2.028	

**METODO** : ASTM D - 1557 MODIFICADO "C" **MAXIMA DENSIDAD SECA** : 2.16 gr/cm<sup>3</sup>  
**HUMEDAD OPTIMA** : 7.25%



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



UANCV / FICP  
 CAP. INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
 JULIACA

B. N° 006-00306710



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



### RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS: MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024  
SOLICITANTE: Bach. ALEX YONY ROQUE APAZA  
CANTERA: CANTERA TAPARACHI 50% - CANTERA ISLA 50% + 30% CENIZA DE CARBÓN  
MUESTRA: SUB BASE  
LUGAR: DISTRITO DE JULIACA  
FECHA: 09 DE AGOSTO DEL 2024

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

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11492	11092	11584	11285	11633	11409
Peso del Molde	gr.	6795	6795	6744	6744	6785	6785
Peso del Suelo Humedo	gr.	4697	4297	4840	4541	4848	4624
Volumen del Suelo	cc.	2102.04	2102.04	2104.68	2104.68	2099.27	2099.27
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.234	2.044	2.300	2.158	2.309	2.203

Capsula No	No	4									
Suelo Humedo + Capsula	gr.	185.20	201.30	178.30	188.30	193.60	185.40	196.30	188.50	190.20	
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	162.00	175.15	163.22	167.12	171.18	170.20	175.00	169.30	174.06	
Peso del Agua	gr.	23.20	26.15	15.08	21.18	22.42	15.20	21.30	19.20	16.14	
Peso de la Capsula	gr.	38.20	36.50	39.20	38.20	36.30	37.30	39.10	36.70	38.55	
Peso del Suelo Seco	gr.	123.80	138.65	124.02	128.92	134.88	132.90	135.90	132.60	135.51	
% de Humedad	%	18.74%	18.86%	12.16%	16.43%	16.62%	11.44%	15.67%	14.48%	11.91%	
Promedio de Humedad	%	18.80%		12.16%	16.53%		11.44%	15.08%		11.91%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.881		1.823	1.974		1.936	2.007		1.968	

### EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
5/08/2024	08:40: a.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
6/08/2024	08:40: a.m.	24:00:00	0.56	0.01	0.01	0.50	0.01	0.01	0.52	0.01	0.01
7/08/2024	08:40: a.m.	48:00:00	0.65	0.02	0.01	0.56	0.01	0.01	0.56	0.01	0.01
8/08/2024	08:40: a.m.	72:00:00	0.77	0.02	0.02	0.64	0.02	0.01	0.60	0.02	0.01
9/08/2024	08:40: a.m.	96:00:00	0.83	0.02	0.02	0.72	0.02	0.02	0.63	0.02	0.01

### PENETRACION

Penetracion mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		44.20	212.7	10.8		79.30	361.7	18.3		97.20	438	22.1	
1.27	01:00		68.90	317.6	16.1		106.80	478.4	24.2		135.10	599	30.3	
1.91	01:30		81.40	370.6	18.7		125.10	558.1	28.1		166.70	733	37.0	
2.54	02:00	70.31	90.00	407.1	20.6		138.20	611.7	30.9		187.00	819	41.4	
3.81	03:00		107.20	480.1	24.3		161.40	710.2	35.9		229.50	999	50.5	
5.09	04:00	105.00	118.20	526.8	26.6		180.00	789.1	39.9		266.10	1185	58.4	
6.35	05:00		127.60	566.7	28.6		196.30	858.3	43.4		298.30	1291	65.3	
7.62	06:00		135.00	598.1	30.2		210.40	918.2	46.4		326.70	1412	71.4	
8.84	07:00													
10.16	08:00													

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

UANCV - FIGP  
CAP INGENIERIA CIVIL  
MGT. ANTONIO TORRES  
MAY 27

B: N° 006-00306710

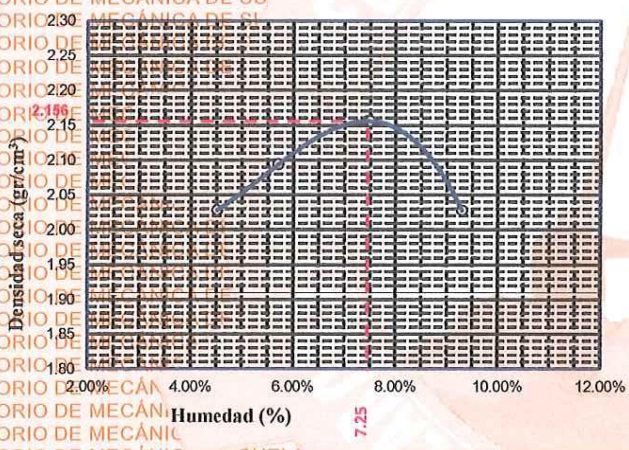


UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

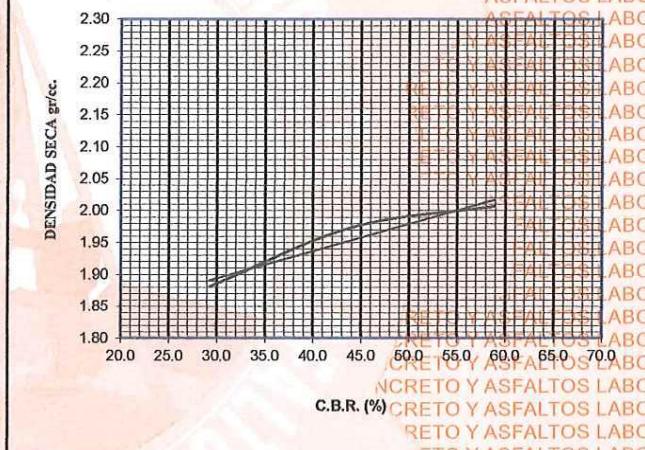


<b>TESIS:</b> MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN:</b> ASTM D1557-91
<b>SOLICITANTE:</b> Bach. ALEX YONY ROQUE APAZA	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>):</b> 2.16
<b>CANTERA:</b> TAPARACHI 50% - ISLA 50% + 30% CENIZA DE CARBÓN	<b>HUMEDAD OPTIMA (%):</b> 7.25%
<b>MUESTRA:</b> SUB BASE	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%):</b> 58.90
<b>LUGAR:</b> DISTRITO DE JULIACA	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%):</b> 44.00
<b>FECHA:</b> 09 DE AGOSTO DEL 2024	<b>CLASIFICACIÓN:</b> GW
	<b>AASHTO:</b> A-1-a (0)
	<b>EMBEBIDO:</b> 4 DIAS

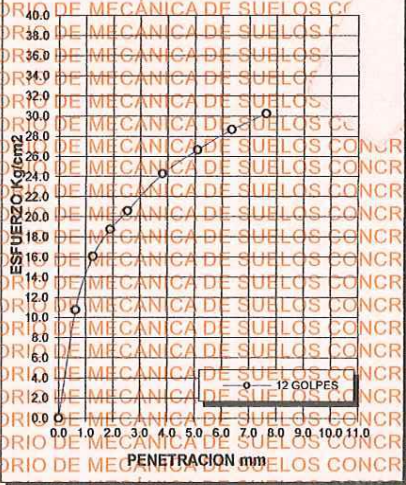
RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



RELACIÓN CBR - DENSIDAD SECA

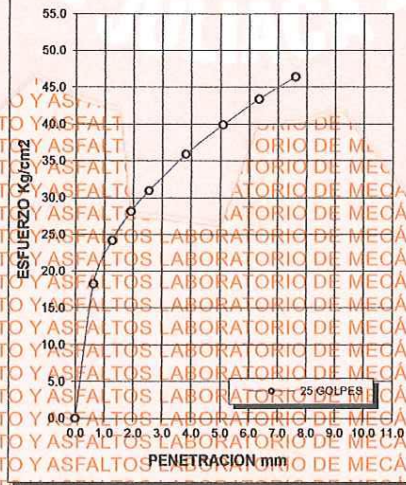


12 GOLPES



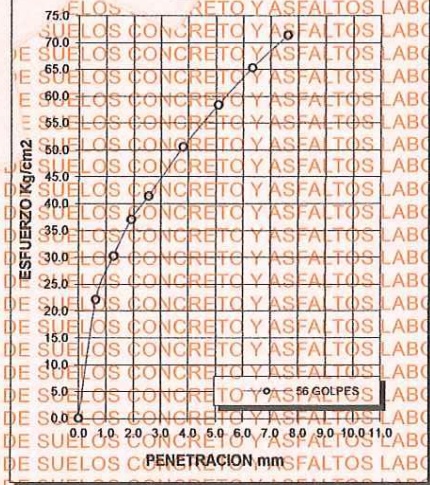
CBR 29.3

25 GOLPES



CBR 44.0

56 GOLPES



CBR 58.9



UANCV - ICP  
CAP INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
Mgtr. ADRIANA TORRES  
JULIACA

B: N° 006-00306710



Formato digital

Fecha de entrega: 31/12/2024

**1. Datos del autor (es):**

Nombres y Apellidos: ALEX YONY ROQUE APAZA

Dirección: CP TITILACA

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 73818558

Teléfono: 992079569 email: jhonsra.19@gmail.com

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

Dirección: \_\_\_\_\_

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

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

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

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL

Asesor: Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: MEJORAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR CON CENIZAS DE CARBÓN PARA EL USO EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, JULIACA 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): Sub base, material, granular

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

1,2

<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.

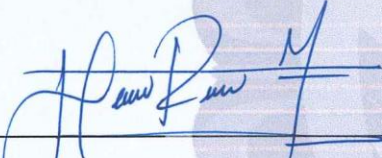
La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

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

31 de diciembre del 2024

Fecha