



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE
LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU
INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO
DE LA CARRETERA JULIACA – ESCALLANI 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE
LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU
INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO
DE LA CARRETERA JULIACA – ESCALLANI 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:



Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

PRIMER MIEMBRO


:



Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO

:



Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ASESOR DE TESIS

:



Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



RESOLUCIÓN DECANAL N° 497-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 19 de junio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025- CU-6930 presentado por el (la) Bachiller: ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE 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. ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE, quien solicita NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN de la Tesis Titulado: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 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. MILTHON QUISPE HUANCA
* 1er Miembro : Dr. ARNALDO YANA TORRES
* 2do Miembro : Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de

la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES.

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN

DE LA TESIS de el (la) bachiller: ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE; del informe final de la investigación (tesis) titulado: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024 para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- * FECHA : jueves 26 de junio del 2025
* HORA : 10:00 horas
* LUGAR : Aula 406 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables

del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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

ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE
DECANO (e)
C.P. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1104-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 26 de setiembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 011640 por el señor (a): **ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 1054 - 2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 185 - 2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) **Titulado: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la **ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis)** formato N° 185 - 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) **titulado: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 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 mérito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema **Titulado: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

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

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Dr. EIRAN VILLALBA SASS
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:
Archivo
interesado (s)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 724-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 01 de agosto del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU-8794, presentado el señor (a) **ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE** solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 696 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 198 -2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 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° 198 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024**.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

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

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

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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

MILTON QUIRPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



Dr. Eloy Pardo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:
Archivo 2024
Intermedio 14



18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 9% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 17% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.


Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	40877848
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0007-7679-5400
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02442876
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8509-7224
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	MILTHON QUISPE HUANCA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	02306659
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: San Miguel Latitud: S 15° 28' 43" Longitud: O 70° 07' 37"</p>  <p>https://maps.app.goo.gl/4SpQXhRPj6eaHPa8</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2024 - Junio 2025
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	<p>Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</p>



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 Dr. Fritz Wally Mamoni Spazo
 DIRECTOR
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo ELOY KOQLI CONDORI SUCASAJRE, identificado con DNI Nro. 40877848, en mi condición de egresado de:

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

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada:

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024

Asesorado por: Mgr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Es un tema original.

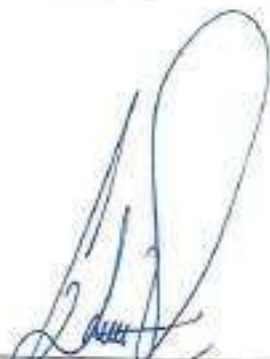
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales,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

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

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

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

Juliaca 15 de Julio del 2025


Firma del Asesor (obligatoria)


Firma del Estudiante (obligatoria)


Huella



DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a dios por guiarme por el buen camino a mis padres motivo de vida.



AGRADECIMIENTO

A la universidad andina y la carrera de ingeniería civil a mis hermanos, docentes, asesor, compañeros, amigos y muchas personas más que estuvieron ahí para apoyarme con sus consejos y sabiduría durante el proceso de investigación y redacción de la tesis de investigación



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN.....	xii

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

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



CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación 8
2.1.1 Antecedentes internacionales 8
2.1.2 Antecedente nacional 10
2.1.3 Antecedente local 13
2.2 Bases teóricas..... 14
2.2.1 Subrasante 14
2.2.1.1 Importancia de la subrasante..... 16
2.2.1.2 Funciones de la subrasante 17
2.2.1.3 Propiedades físicas y mecánicas de la subrasante 18
2.2.1.4 Métodos de evaluación de la capacidad de soporte..... 21
2.2.2 Carreteras afirmadas 23
2.2.2.1 Características de las carteras afirmadas 24
2.2.2.2 Ventajas y desventajas de las carteras afirmadas 26
2.2.2.3 Aplicaciones de las carteras afirmadas..... 29
2.2.2.4 Materiales para las carteras afirmadas 32
2.2.3 Carreteras no pavimentadas..... 37
2.2.3.1 Características de las carreteras no pavimentadas..... 39
2.2.3.2 Tipos comunes de carreteras no pavimentadas..... 43
2.2.3.3 Clasificación de acuerdo a la demanda 48
2.2.3.4 Métodos para evaluar el estado de una carretera no pavimentada..... 50
2.2.4 Cenizas inorgánicas..... 53
2.2.4.1 Propiedades de las cenizas inorgánicas 54
2.2.4.2 Características de las cenizas inorgánicas 55
2.2.4.3 Aplicación de las cenizas inorgánicas..... 58
2.2.4.4 Estabilización de suelos con cenizas inorgánicas..... 59
2.2.4.5 Estabilización de suelos con cenizas inorgánicas..... 61
2.3 Marco conceptual 65
2.3.1. Afirmado..... 65
2.3.2. CBR 65
2.3.3. Carretera..... 65
2.3.4. Cenizas inorgánicas..... 66
2.3.5. IMDA..... 66
2.3.6. Subrasante..... 66
2.3.7. Suelos..... 67



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño de la investigación 68

3.2 Método de la investigación 68

3.3 Nivel y tipo de la investigación..... 69

 3.3.1 Nivel de la investigación..... 69

 3.3.2 Tipo de la investigación 69

3.4 Población y muestra de la investigación 70

 3.4.1 Población..... 70

 3.4.2 Muestra..... 70

3.5 Técnicas e instrumentos..... 71

 3.5.1 Técnicas 71

 3.5.2 Instrumentos de recolección de datos investigación 71

3.6 Plan de recolección y procesamiento de datos..... 72

 3.6.1 Desarrollo del plan de investigación..... 72

3.7 Procesamiento y análisis de datos 83

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación y análisis de resultados..... 84

 4.1.1 Capacidad relativa de soporte CBR del suelo subrasante y afirmado existente
 93

 4.1.2 Adición de la ceniza inorgánica sobre la capacidad relativa de soporte de la
 subrasante..... 96

 4.1.3 Espesor del afirmado luego de la estabilización de la subrasante y la
 consideración de los ejes equivalentes 106

4.2 Discusión de resultados 110

CONCLUSIONES 112

RECOMENDACIONES 113

BIBLIOGRAFÍA..... 114

ANEXOS..... 118



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	7
Tabla 2 Numero de muestra para los ensayos	70
Tabla 3 Detalle de las calicatas	73
Tabla 4 Humedad de las calicatas.....	85
Tabla 5 Análisis granulométrico de las calicatas.....	86
Tabla 6 IP de las subrasantes	89
Tabla 7 Grado de compactación de las muestras.....	90
Tabla 8 CBR de las muestras.....	93
Tabla 9 CBR del SN + 5.5% CI.....	96
Tabla 10 CBR del SN + 7.0% CI.....	99
Tabla 11 CBR del SN + 8.5% CI.....	102
Tabla 12 Resultados obtenidos del CBR	105
Tabla 13 Parámetros de la subrasante.....	106
Tabla 14 CBR de diseño al 95%.....	107
Tabla 15 Comparativo del espesor del afirmado.....	109



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Carretera afirmada 24

Figura 2 Cenizas inorgánicas..... 53

Figura 3 Ubicación de la carretera 73

Figura 4 Ceniza inorgánica (cáscara de cebada) 74

Figura 5 Ensayo de límite de consistencia 80

Figura 6 Ensayo de Proctor modificado..... 81

Figura 7 Ensayo de CBR 83

Figura 8 Contenido de humedad..... 85

Figura 9 Análisis granulométrico - C1 87

Figura 10 Análisis granulométrico – C2..... 87

Figura 11 Análisis granulométrico – C3..... 88

Figura 12 IP del suelo natural 89

Figura 13 Relación de la densidad y humedad de la C - 1 90

Figura 14 Relación de la densidad y humedad de la C - 2 91

Figura 15 Relación de la densidad y humedad de la C - 3 91

Figura 16 Comparativo del grado de compactación del suelo 92

Figura 17 CBR de la C - 1..... 93

Figura 18 CBR de la C - 2..... 94

Figura 19 CBR de la C - 3..... 94

Figura 20 Comparativo de los CBR de la subrasante natural 95

Figura 21 C- 1, CBR + Ceniza inorgánica 5.5% 96

Figura 22 C – 2, CBR + Ceniza inorgánica 5.5%..... 97

Figura 23 C – 3, CBR + Ceniza inorgánica 5.5%..... 97

Figura 24 Comparativa del CBR de la subrasante natural + Ceniza inorgánica 5.5% 98

Figura 25 C – 1, CBR + Ceniza inorgánica 7.0%..... 99

Figura 26 C – 2, CBR + Ceniza inorgánica 7.0%..... 100

Figura 27 C – 3, CBR + Ceniza inorgánica 7.0%..... 100

Figura 28 Comparativa del CBR de la subrasante natural + Ceniza inorgánica 7.0% .. 101

Figura 29 C – 1, CBR + Ceniza inorgánica 8.5%..... 102

Figura 30 C – 2, CBR + Ceniza inorgánica 8.5%..... 103

Figura 31 C – 3, CBR + Ceniza inorgánica 8.5%..... 103

Figura 32 Comparativa del CBR de la subrasante natural + Ceniza inorgánica 8.5% .. 104

Figura 33 Comparativa de las CBR obtenidas..... 105

Figura 34 Cuadro de ejes equivalentes y espesores (MTC)..... 108



RESUMEN

La presente investigación titulada "Efecto de la aplicación de cenizas inorgánicas sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su incidencia en el diseño de espesor de afirmado de la carretera Juliaca - Escallani 2024", Tiene como objetivo analizar el efecto de la aplicación de la ceniza inorgánica proveniente de la cascara de cebada sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su incidencia en el diseño de espesor de afirmado. La metodología aplicada en este estudio presenta un diseño experimental, método científico, nivel explicativo y de tipo aplicado. Los resultados obtenidos del estudio se presentan a continuación; en cuanto al primer objetivo, en el análisis del CBR del suelo de subrasante existente en la carretera Juliaca - Escallani, se realizaron mediciones en diversos puntos de control a lo largo de la vía. Los resultados obtenidos mostraron valores de CBR que varían ligeramente entre las diferentes calicatas; en la calicata 1, el CBR fue de 3.90%; en la calicata 2 fue de 3.81%; y en la calicata 3 fue de 3.87%. Además el espesor del afirmado existente en la carretera fue de 27 cm. Con respecto al segundo objetivo, se evaluó la incidencia de la adición de la ceniza inorgánica proveniente de la cascara de cebada sobre la capacidad relativa de soporte en proporciones de 5.5%, 7.0% y 8.5%. Los resultados obtenidos en la prueba de CBR al 95% mostraron mejoras progresivas en la resistencia del suelo conforme se incrementaba la cantidad de ceniza inorgánica, con la adición de 5.5% alcanzo un CBR de 8.01%, con la adición de 7.0% alcanzo un CBR de 9.92% y con la adición de 8.5% se obtuvo un CBR de 11.44%. Asimismo los resultados del tercer objetivo, se evaluó el espesor del afirmado después de realizar la estabilización de la subrasante mediante la incorporación de la ceniza inorgánica proveniente de la cascara de cebada. Los resultados obtenidos presentaron un CBR promedio de 9.79%, el número de ejes equivalentes (EE) alcanzo un total de 28248. Este valor indica una mejora significativa en la resistencia del suelo estabilizado, lo que permitió reducir el espesor del afirmado. Con este tratamiento, el espesor del afirmado fue de 16 cm, lo que representa una reducción



de aproximadamente de 11 cm. Finalmente se concluye el uso de la ceniza inorgánica que provienen de la combustión de la cascara de cebada en la estabilización de la subrasante de la carretera Juliaca - Escallani ha demostrado ser una opción eficaz para mejorar la capacidad de soporte del suelo y optimizar el diseño del espesor de afirmado. Las pruebas realizadas mostraron mejoras significativas en la resistencia del suelo, reflejadas en un aumento del CBR y en la reducción del espesor requerido para el afirmado, lo que representa un ahorro de material y costos de construcción. La estabilización con la ceniza inorgánica no solo favorece la mejora de las propiedades mecánicas del suelo, sino que también permite cumplir con los parámetros establecidos por el MTC.

Palabras Clave: Ceniza inorgánica, CBR, Subrasante, Espesor de afirmado.



ABSTRACT

The present investigation entitled "Effect of the application of inorganic ashes on the support capacity of the subgrade and its incidence in the design of the thickness of the Juliaca Highway - ESCALLANI 2024", aims to analyze the effect of the application of the inorganic ash from the barley cascara on the support capacity of the subgrade and its incidence in the design of the thickness. The methodology applied in this study presents an experimental design, scientific method, explanatory and type applied. The results obtained from the study are presented below; As for the first objective, in the CBR analysis of the existing subgrade floor on the Juliaca - Escallani highway, measurements were made in various control points along the road. The results obtained showed CBR values that vary slightly between the different calicatas; In Calicata 1, the CBR was 3.90%; in Calicata 2 it was 3.81%; and in Calicata 3 it was 3.87%. In addition, the thickness of the existing state on the road was 27 cm. With respect to the second objective, the incidence of the addition of the inorganic ash from the barley shell on the relative support capacity of proportions of 5.5%, 7.0% and 8.5% was evaluated. The results obtained in the 95% CBR test showed progressive improvements in soil resistance as the amount of inorganic ash, with the addition of 5.5%, reached a CBR of 8.01%, with the addition of 7.0% reached a CBR of 9.92% and with the addition of 8.5% a CBR of 11.44% was obtained. Likewise, the results of the third objective, the thickness of the affirmation was evaluated after the stabilization of the subgrade by incorporating the inorganic ash from the barley casseous. The results obtained presented an average CBR of 9.79%, the number of equivalent axes (EE) reached a total of 28248. This value indicates a significant improvement in stabilized soil resistance, which allowed to reduce the thickness of the statement. With this treatment, the thickness of the state was 16 cm, which represents a reduction of approximately 11 cm. Finally, the use of inorganic ash that come from the combustion of the barley shell in the stabilization of the Juliaca Highway - Escallani has proven to be an effective option to improve the soil



support capacity and optimize the design of the thickness of affirmed. The tests performed showed significant improvements in soil resistance, reflected in an increase of the CBR and in the reduction of the thickness required for the statement, which represents a saving of material and construction costs. Stabilization with inorganic ash not only favors the improvement of soil mechanical properties, but also allows to meet the parameters established by the MTC.

Keywords: inorganic ash, CBR, subgrade, affirmation thickness.



INTRODUCCIÓN

El avance de las infraestructuras viales es esencial para el desarrollo económico y social de cualquier región. Las carreteras mejoran el transporte de productos y personas, al tiempo que aumentan la conexión y el acceso a los servicios esenciales. La resistencia y funcionalidad de estas carreteras dependen en gran medida de la calidad de sus componentes estructurales, en particular de la subrasante, que es la capa esencial que soporta el peso del pavimento y el tráfico.

La capacidad portante de la subrasante es un elemento crucial en el proyecto y la ejecución de carreteras. Una subrasante con baja capacidad de soporte puede llevar a fallos prematuros en la estructura del pavimento, resultando en mayores costos de mantenimiento y reparación. Por lo tanto, la mejora de las propiedades de la subrasante es una prioridad para ingenieros y diseñadores de carreteras.

Recientemente, la utilización de materiales alternativos y reciclados para mejorar las cualidades de la subrasante ha suscitado una gran atención. Uno de estos materiales son la ceniza inorgánica, un subproducto industrial que, cuando se aplica correctamente, puede mejorar significativamente la subrasante. La adición de ceniza inorgánica no solo puede proporcionar una solución económica y sostenible, sino que también puede contribuir a la reducción de residuos industriales y a la mitigación de impactos ambientales.

Este estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de la aplicación de la ceniza inorgánica proveniente de la cascara de cebada sobre la capacidad portante de la subrasante y su influencia en el diseño del espesor del pavimento para la ruta Juliaca - Escallani. A través de una serie de experimentos y análisis, se pretende determinar las mejoras en la capacidad portante de la subrasante tratada con cenizas inorgánicas y cómo estas mejoras pueden influir en el diseño y la durabilidad de las carreteras.



En el capítulo I, se define y contextualiza el problema de investigación, seguido por la problemática específica que aborda el estudio, justificando la elección de la ceniza inorgánica como material de mejora. Además, se establecerán los objetivos generales y específicos de la investigación, así como las hipótesis planteadas. Finalmente, se delimitará la operacionalización de variables.

En el capítulo II, se analizaron los antecedentes de estudios previos sobre el uso de la ceniza inorgánica, dichos estudios se analizaron en el entorno internacional, nacional y local. Finalmente, se presentaron los fundamentos teóricos necesario para comprender el contexto y la importancia del estudio.

En el capítulo III, se detallará la metodología empleada para llevar a cabo el presente estudio. Se describió el diseño, método, nivel y tipo de la investigación, incluyendo la selección y preparación de muestras de subrasante y la ceniza inorgánica. También se presentarán los métodos de recolección y análisis de datos, junto con las herramientas estadísticas utilizadas para interpretar los resultados. Se discutirá la validez y confiabilidad de los métodos aplicados, asegurando la robustez y rigor del estudio.

En el capítulo IV, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados. Se mostraron y analizarán los datos de capacidad de soporte de las muestras de subrasante con y sin tratamiento de cenizas inorgánicas, utilizando gráficos y tablas para ilustrar los hallazgos. Se discutirá la incidencia de estos resultados en el diseño del espesor de afirmado de la carretera, evaluando las implicaciones prácticas y teóricas. Además, se compararán los resultados con estudios previos y se analizarán las posibles razones detrás de las diferencias o similitudes observadas.

Finalmente, se extraerán conclusiones sobre la efectividad de las cenizas inorgánicas y se ofrecerán recomendaciones para su aplicación en futuros proyectos de construcción vial.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática

La deficiencia de las infraestructuras viales es uno de los principales problemas de la pobreza en el país, pues encarece el transporte y el intercambio de productos, impidiendo así el progreso económico de la población. (Machado y Toma, 2017, p.2).

En el contexto internacional, Ecuador enfrenta desafíos significativos en el diseño y mantenimiento de carreteras a nivel de afirmado. La falta de acceso y conectividad en regiones rurales es un problema crítico, exacerbado por condiciones climáticas adversas que erosionan rápidamente la subrasante. Las deficiencias en la selección y uso de materiales adecuados, junto con limitaciones financieras, dificultan la creación de infraestructuras duraderas. Además, el mantenimiento inadecuado contribuye a la rápida degradación de las vías, afectando negativamente el desarrollo económico y social de las comunidades. La falta de normativas y estándares consistentes a nivel nacional complica la implementación de soluciones efectivas, mientras que los impactos ambientales de la construcción y mantenimiento mal gestionados agravan aún más la situación. (Martínez, 2020).

En Perú, el diseño y mantenimiento de carreteras a nivel de afirmado enfrentan serios desafíos. La falta de acceso y conectividad en las zonas rurales sigue siendo un



problema crítico, exacerbado por las condiciones climáticas adversas que rápidamente erosionan la subrasante (Gómez, 2018). Las limitaciones financieras y las deficiencias en la selección y uso de materiales adecuados dificultan la construcción de infraestructuras duraderas (Martínez, 2020). Además, el mantenimiento inadecuado contribuye a la rápida degradación de las vías, afectando negativamente el desarrollo económico y social de las comunidades (Rodríguez & Pérez, 2019). La ausencia de normativas y estándares consistentes a nivel nacional complica la implementación de soluciones efectivas, mientras que los impactos ambientales derivados de una gestión deficiente en la construcción y mantenimiento agravan aún más la situación.

La inadecuada compactación del suelo es la base de una carretera no pavimentada, ocasionan diversas fallas en la superficie de rodamiento, por lo que en esta investigación se investiga la incorporación de la ceniza inorgánica (cascara de cebada). Se proporcionará un remedio técnico y económico al problema de compactación de la base de la carretera no pavimentada que actualmente se presenta en la ruta Juliaca - Escallani, lo que permitirá mejorar la transitabilidad entre Juliaca y Escallani, y viceversa, además de permitir el desarrollo socioeconómico y mejorar la calidad de vida de las personas que viven a lo largo de la carretera y en la propia capital del distrito.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 *Problema general*

¿Cuál es el efecto de la aplicación de cenizas inorgánicas sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su incidencia en el diseño de espesor de afirmado de la carretera Juliaca - Escallani 2024?

1.2.2 *Problemas específicos.*

- a. ¿Cuál es la capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante y el afirmado existente en la carretera Juliaca - Escallani 2024?



- b. ¿Cuál es la incidencia de la adición de cenizas inorgánicas en cantidades variables sobre la capacidad relativa de soporte de la subrasante en la carretera Juliaca - Escallani 2024?
- c. ¿Cuál es el espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante y la consideración de los ejes equivalentes actuales de la carretera Juliaca - Escallani 2024?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 *Objetivo general*

Analizar el efecto de la aplicación de cenizas inorgánicas sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su incidencia en el diseño de espesor de afirmado de la carretera Juliaca - Escallani 2024.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- a. Determinar la capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante y el afirmado existente en la carretera Juliaca - Escallani 2024.
- b. Evaluar la incidencia de la adición de cenizas inorgánicas en cantidades variables sobre la capacidad relativa de soporte de la subrasante en la carretera Juliaca - Escallani 2024.
- c. Determinar el espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante y la consideración de los ejes equivalentes actuales de la carretera Juliaca - Escallani 2024.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 *Justificación técnica*

El uso de cenizas inorgánicas en la construcción vial representa una innovación técnica significativa para mejorar la capacidad portante de la subrasante. Técnicamente,



las cenizas inorgánicas tienen características físicas que pueden aumentar la densidad y resistencia de la subrasante, reduciendo su susceptibilidad a deformaciones bajo cargas pesadas. Este estudio proporcionará datos empíricos y análisis técnicos que respaldan la viabilidad del uso de cenizas inorgánicas, ofreciendo una solución efectiva y de alta performance para mejorar la durabilidad y funcionalidad de las carreteras.

1.4.2 Justificación económica

Desde una perspectiva económica, la implementación de cenizas inorgánicas como estabilizador de la subrasante puede resultar en considerables ahorros de costos. Las cenizas inorgánicas son un subproducto industrial de bajo costo en comparación con materiales tradicionales utilizados para mejorar la subrasante. Al utilizar este material reciclado, se pueden reducir los gastos en materias primas y los costos asociados con el mantenimiento y reparación de carreteras. Este enfoque económico puede contribuir a la construcción de infraestructuras más asequibles y sostenibles, maximizando el retorno de inversión en los proyectos viales.

1.4.3 Justificación social

El impacto social de mejorar la capacidad de soporte de la subrasante mediante el uso de cenizas inorgánicas es significativo. Carreteras más duraderas y funcionales mejoran la conectividad y el acceso a servicios básicos, promoviendo el desarrollo socioeconómico de las comunidades. Además, al utilizar materiales reciclados, se promueve una cultura de sostenibilidad y responsabilidad social. Este estudio no solo busca mejorar la infraestructura vial, sino también contribuir al bienestar social mediante el desarrollo de soluciones que beneficien a la comunidad en general.

1.4.4 Justificación ambiental

La justificación ambiental de este estudio es uno de sus aspectos más destacados. La utilización de cenizas inorgánicas, un subproducto industrial, contribuye a la reducción

de residuos y a la mitigación del impacto ambiental. La incorporación de este material reciclado a la construcción de carreteras disminuye la necesidad de recoger y procesar nuevas materias primas, con lo que se reduce la huella de carbono y el impacto ambiental adverso.

1.5 Hipótesis de la investigación

1.5.1 Hipótesis general

El efecto de la aplicación de cenizas inorgánicas ayudará al incremento de la capacidad de soporte de la subrasante y su incidencia en el diseño de espesor de afirmado de la carretera Juliaca - Escallani 2024, será significativa.

1.5.2 Hipótesis específicas.

- a. La capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante y el afirmado existente en la carretera Juliaca - Escallani 2024, estará por debajo de las especificaciones mínimas de calidad, requiriendo estabilización.
- b. La incidencia de la adición de cenizas inorgánicas en cantidades variables incrementará la capacidad relativa de soporte de la subrasante en la carretera Juliaca - Escallani 2024.
- c. El espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante y la consideración de los ejes equivalentes actuales de la carretera Juliaca - Escallani 2024, estará por debajo 15 cm que es lo recomendado.

1.6 Variables e indicadores

1.6.1 Variable independiente

Ceniza inorgánica (cascara de cebada)

Indicadores:

- Proporciones de CI en 5.5%, 7.0% y 8.5%.



1.6.2 *Variable dependiente*

Capacidad relativa de soporte del suelo subrasante

Indicadores:

- CBR

Espesor de afirmado

Indicadores:

- IMDA
- CBR

1.7 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Ceniza inorgánica (cascara de cebada)	Las cenizas inorgánicas son residuos sólidos que se generan a partir de la combustión completa de materiales orgánicos como carbón, madera y otros combustibles fósiles o biomasa. Un tipo importante de cenizas inorgánicas son las cenizas volantes, que consisten en partículas finas recolectadas de los gases de combustión antes de que sean liberados a la atmósfera.	Proporciones de CI	SN + 5.5%CI	Ficha de control de calidad de laboratorio
			SN + 7.0%CI	
			SN + 8.5%CI	
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Capacidad relativa de soporte del suelo subrasante	Se refiere a la habilidad de un suelo específico para soportar cargas aplicadas desde la infraestructura construida sobre él, como carreteras, edificios y otras estructuras. Esta capacidad es crucial para garantizar la estabilidad y durabilidad de las estructuras.	CBR	Resistencia al corte del suelo	Equipos y herramientas de laboratorio
Espesor de afirmado	Es una capa fundamental en la construcción de carreteras y otras infraestructuras viales, ubicada entre la subrasante y la capa de rodadura. Este término hace referencia a la capa de material granular, generalmente piedra triturada o grava	IMDA	Conteo de tráfico vehicular	Guías de laboratorio
		CBR	Resistencia al corte del suelo	



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Según, Andaluz (2022) en su proyecto "Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico - mecánicas en suelos finos de subrasante", El objetivo de este experimento fue averiguar cómo la ceniza de cascarilla de arroz afectaba las propiedades mecánicas y físicas de los suelos de subrasante fina. Este estudio comparó los valores del Coeficiente de Soporte California (CBR) del suelo natural con el suelo estabilizado con ceniza de cascarilla de arroz, utilizando suelos de tres localidades distintas dentro del cantón Puyo. Además de las pruebas de laboratorio que incluyen contenido de humedad, granulometría, gravedad específica, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR, la investigación también llevó a cabo una serie de pruebas in situ, tales como pruebas de densidad en campo y a cielo abierto (técnica de arena y cono de Ottawa). Para realizar las pruebas Proctor modificado y CBR, se mezclaron muestras de suelo con diferentes concentraciones de ceniza de cáscara de arroz (0%, 1%, 3%, 5% y 8%). En este caso, el material de la capa de asfalto debe ser estabilizado con ceniza de cáscara de arroz. El valor CBR del suelo estabilizado se empleó en el segundo diseño, mientras que el valor CBR del suelo natural se utilizó en el primero. El diseño que utilizó suelo estabilizado



resultó en una disminución de los espesores de las capas de pavimento flexible. Tras la realización de los diseños, se llevó a cabo un análisis económico para determinar cómo afectaría el uso de ceniza de cascarilla de arroz al coste de la carretera.

Además, Vargas et al. (2020) en su proyecto "Estabilización de afirmado con ceniza proveniente de desechos de cascarilla de café para aplicar en suelos de construcción de vías", el trabajo realizado en el seminario de grado tiene el propósito de evaluar la factibilidad de utilizar cenizas derivadas de los residuos de cascarilla de café como medio de estabilización de suelos en la construcción de carreteras, particularmente en la capa de cemento. Los hallazgos demuestran que la incorporación de cenizas en diversas concentraciones (0%, 4%, 8% y 14%) mejora la resistencia a la compresión libre del suelo. Esto conduce a características físico-mecánicas mejoradas y a una mayor estabilidad en condiciones de estrés. Fuerzas externas La estabilidad de la Subrasante estará determinada por la resistencia del material que la compone. Las capas reafirmantes se utilizan como base en estructuras de pavimento, rutas sin pavimentar y superficies que entran en contacto directo con las cargas de tráfico. La cantidad de deformación bajo cargas dependerá de lograr un resultado satisfactorio. Por lo tanto, la propuesta es utilizar ceniza como estabilizador, lo que se espera que dé como resultado una mayor resistencia, una menor susceptibilidad a la humedad, una menor plasticidad y una mejor trabajabilidad, entre otros beneficios. Cabe señalar que nuestro país es un importante productor de café a nivel mundial, y pretendemos aprovechar esta materia prima para contribuir a la preservación del medio ambiente incorporándola al sistema constructivo de una estructura de pavimento.

Asimismo, Camelo y Gonzáles (2021) en su proyecto "Propiedades resilientes de subrasantes granulares estabilizadas con ceniza volante para diseño de pavimentos", el objetivo principal de esta investigación es evaluar las características robustas de una capa de subrasante que ha sido estabilizada con cenizas volantes para un pavimento flexible



tradicional. Se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de la literatura entre un grupo diverso de escritores locales y extranjeros que idearon procedimientos de laboratorio especializados para evaluar las cualidades mecánicas de la estabilización del suelo utilizando cenizas volantes y/o cal. Se utilizó el software de modelado de elementos finitos Abaqus para evaluar el impacto de la contribución estructural. Esto se hizo realizando un análisis elástico lineal multicapa de las propiedades resilientes en un pavimento flexible típico. La capa de subrasante se estabilizó utilizando cuatro dosis diferentes de ceniza y cal. Esto resultó en mejoras en las deformaciones verticales en el nivel de subrasante y en la superficie de la carretera.

2.1.2 Antecedente nacional

Según, Curasma (2021) en su proyecto "Estabilización de subrasantes blandas con insumos inorgánicos, avenida integración este - Torre, Huancayo", tiene como objetivo evaluar el impacto de la adición de insumos inorgánicos en la estabilización de subrasantes blandas en el lugar y plazo especificados. Se empleó como técnica el método científico, específicamente un enfoque aplicativo con un nivel descriptivo-explicativo y un diseño experimental. Los resultados fueron los siguientes: la muestra se sometió a un tratamiento con un 35% de aditivos inorgánicos (ceniza y cal), lo que dio lugar a una reducción del índice de plasticidad del 8% a un valor no especificado, un aumento del contenido de humedad óptimo del 9,50% al 14,2%, una disminución de la densidad seca máxima de 2,058 g/cm³ a 1,831 g/cm³, y un aumento del coeficiente portante de California (CBR) del 7,4% al 23,40%. La investigación indicó que la subrasante blanda compuesta por un 35% (ceniza + cal) tenía un coeficiente de soporte de California (CBR) del 23,40%, un contenido de humedad óptimo del 14,20%, una densidad seca máxima de 1.831 g/cm³ y un índice de plasticidad de NP. Estos datos reflejan un aumento del 16% en el CBR, una reducción del 11% en la densidad seca máxima y una disminución de la plasticidad en relación con la muestra de subrasante natural.



Además, Altamirano y Utani (2022) en su proyecto "Influencia de la adición de cenizas de leño de cipres en la subrasante arcillosa para la carretera Matapuquio - Collpa, Andahuaylas", el estudio utilizó el método científico con un enfoque cuantitativo. Fue un estudio aplicado con un nivel explicativo. La población de investigación estuvo conformada por toda la carretera Matapuquio - Collpa, la cual recorre un recorrido total de 18+600 kilómetros. La muestra se tomó del tramo más problemático de la vía, caracterizado por la prevalencia de suelo arcilloso. A lo largo del procedimiento experimental, se realizaron pruebas de caracterización del suelo para determinar el porcentaje de humedad ideal, los límites de consistencia y el porcentaje de CBR tanto de la muestra de suelo original como de la muestra con la inclusión de ceniza de troncos de ciprés. Se cavaron tres trincheras en la sección más crucial de la carretera, siguiendo las pautas descritas en el Manual de Carreteras del MTC. Se consideraron tres tratamientos para la adición de ceniza, con porcentajes variables: T1 = 5%, T2 = 10% y T3 = 15% de ceniza de madera de ciprés. El análisis de los hallazgos indica claramente que el IP mejora con T1 que contiene 5% de ceniza, como lo demuestra el hecho de que el valor de IP supera 7, lo que indica una baja plasticidad del suelo. En términos de CBR, el T1 con un 5% de ceniza mejora la capacidad de resistencia del suelo en un 14,3%. Finalmente, se determinó que la proporción ideal para reponer las cenizas en el suelo es un 5% de ceniza de troncos de ciprés. Esto se debe a que aumentar el porcentaje más allá de este punto no mejora significativamente las cualidades físicas y mecánicas del suelo en las distintas muestras.

Asimismo, Alegría y Lago (2021) en su proyecto "Mejoramiento de la subrasante adicionando ceniza de cebada para el acceso al vertedero de la Provincia de Andahuaylas Apurímac", el objetivo era realzar la subrasante aplicando ceniza de cebada, y para el cálculo se utilizaron diversas proporciones de la misma. La investigación se categoriza como un estudio de aplicación, con un nivel explicativo, un diseño experimental y una técnica cuantitativa. El foco de la investigación fue la accesibilidad al relleno sanitario en la Provincia de Andahuaylas, y el método de muestreo empleado fue no probabilístico. Se



excavaron dos fosas en el camino de acceso al vertedero. Estos pozos produjeron dos tipos de suelo: suelo arenoso limoso y suelo limoso inorgánico. El ejemplar se encuentra en C-1 00+050. Se descubrió una muestra de suelo franco limoso arenoso a una profundidad de 1,50 m, mientras que se identificó una muestra de suelo franco limoso inorgánico a una profundidad de 2 m. Esta carretera funciona como paso diario de vehículos que transportan residuos y productos reciclables. Para obtener resultados precisos, utilizamos pruebas de acuerdo con la norma MTC, incluido el análisis granulométrico por tamiz, la determinación del límite líquido, la medición del contenido de humedad, la prueba Proctor modificada y la prueba CBR. Los datos indican que la cantidad óptima de ceniza de cebada para estabilizar la subrasante es del 8% sobre la marga limosa inorgánica. La aplicación de un 8% de ceniza de cebada al suelo limoso mejora sus cualidades físicas y mecánicas.

Finalmente, Torres y Landa (2020) en su proyecto "Mejoramiento de suelos arcillosos en subrasante mediante el uso de cenizas volantes de bagazo de caña de azúcar y cal en el tramo de la carretera Tingo María - Monzón en la provincia de Leoncio Prado", el objetivo de esta investigación es identificar el porcentaje más efectivo y rentable de Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA) y cal como materiales estabilizantes. El objetivo es mejorar el porcentaje de CBR de la subrasante, que actualmente se clasifica como pobre o inadecuado. El estudio tiene como objetivo investigar el impacto de la CBCA sobre suelo natural, similar a la cal, para comprender las alteraciones en las características físicas y mecánicas de la mezcla en el marco de crecimiento de la obra. El suelo que se investiga está clasificado como suelo arcilloso de baja plasticidad según el SUCS y como A-6(8) según la AASHTO. Se combina con Material Estabilizador en proporciones de 5%, 15% y 25% respecto a la masa seca. Las combinaciones incluyen 100% arcilla bentonita de calcio (CBCA), 76% CBCA y 25% calcio (Cal), 50% CBCA y 50% Cal, y 100% Cal. Todas las combinaciones designadas se sometieron a pruebas de Proctor y CBR y, posteriormente, los resultados de cada prueba se examinaron mediante un gráfico de



líneas. El elemento estabilizador constituye el 5% de la masa seca de arcilla, lo que resulta en una mejora significativa del CBR (California Bearing Ratio) en un 110,81% en comparación con el suelo natural, así como un aumento de la densidad del 54,7%. Esta proporción está compuesta por una mezcla parcial de 50% Cal y 50% CBCA, elegida específicamente por motivos económicos, con el objetivo de reducir la aplicación de cal.

2.1.3 Antecedente local

Según, Maquera & Aquino, (2021), su investigación titulada "Estabilización de suelos arcillosos en caminos vecinales, modificado con cal y ceniza volante, carretera Acora – Jayujayu, Acora, Puno – 2021" El motivo de este estudio era evaluar cómo afectaban las cenizas volantes y la cal a la estabilidad de los suelos arcillosos a lo largo de la ruta Acora-Jayujayu, especialmente en lo que respecta a las infraestructuras viarias cercanas. La investigación fue una investigación cuasi-experimental con especial énfasis en los métodos aplicados y cuantitativos. La población de suelos arcillosos a lo largo de la ruta del barrio de Acora-Jayu fue el foco principal de la investigación. Se utilizó un tramo de 2,1 kilómetros de la carretera, concretamente desde el km 17+600 hasta el km 19+600, para la investigación. Se trató de una estrategia de muestreo no probabilística. Los resultados principales para el suelo no alterado son los siguientes: 100 % de CBR (índice de soporte de California), MDD (densidad seca máxima) del 28 %, límite de contracción del 29 %, contenido óptimo de humedad del 11,55 %, resistencia a la compresión no confinada de 1,85 kg/cm², peso unitario seco de 18,55 kN/m³ e índice de plasticidad del 15,56 %. El análisis volumétrico reveló que una combinación de 16 % de carbonato cálcico y 5 % de cemento producía el mejor resultado. Entre las características del material se encuentran un CBR MDS (índice de carga de California modificado según la norma de densidad Proctor) del 100 % del 87 %, un límite de contracción del 8 %, un contenido de humedad ideal del 14,90 %, un índice de plasticidad del 5,14 % y una resistencia al corte infinita de 9,11 kg/cm². Existe un amplio consenso en que las cualidades mecánicas y



físicas de los edificios probados se ven mejoradas por la adición de cenizas volantes y cal en diferentes cantidades. La dosis ideal, compuesta por un 16 % de cenizas volantes y un 5 % de cal, fue la más satisfactoria.

Además, Huancoillo (2018) en su proyecto "Mejoramiento de suelo arcilloso con ceniza volante y cal para su uso como pavimento a nivel de afirmado en la carretera desvío Huancané - Chupa", Ciertos suelos arcillosos, como resultado de su limitada capacidad de carga y su mala calidad, pueden no satisfacer consistentemente los criterios esenciales para su utilización en proyectos de pavimentación. Las cenizas volantes son un subproducto de la planta termoeléctrica ubicada en Ilo, Moquegua. Su eliminación plantea una preocupación medioambiental. Este estudio analizó las propiedades físico-mecánicas y los efectos económicos de la integración de cenizas volantes de carbón y cal en suelos arcillosos. El material resultante funcionará como cimiento de una carretera sin pavimentar, mejorando su longevidad y estabilidad volumétrica. Este examen analiza parámetros como el límite líquido, el límite plástico, la expansión, la densidad seca máxima determinada por el ensayo Proctor modificado, y el valor portante relativo, a menudo conocido como coeficiente portante de California (CBR). Se ha confirmado que el suelo arcilloso, al mezclarse con cenizas volantes y cal en proporciones variables, tiene características superiores al suelo puro para su aplicación en la construcción de cimentaciones. Al apearnos a las Especificaciones Técnicas exigidas por las normas peruanas (EG-2013), aseguramos su cumplimiento. Los resultados de la investigación indican que es técnica y económicamente viable utilizar cenizas volantes de carbón como ingrediente estabilizador del suelo en la construcción de pavimentos.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Subrasante

La subrasante es un componente esencial en la construcción de carreteras y otras infraestructuras viarias. Se trata de la superficie natural o artificial sobre la que se construye



el pavimento. Esta capa es esencial para la estabilidad y resistencia de la carretera, ya que soporta las tensiones de las capas superiores del pavimento y las distribuye al subsuelo. (Ponce, 2019).

Una subrasante bien preparada debe ser uniforme y tener la capacidad de soportar las cargas esperadas sin experimentar deformaciones excesivas. Para lograr esto, es común que se realicen tareas de compactación y estabilización del suelo. La compactación se hace para aumentar la densidad del suelo y reducir su porosidad, lo que mejora su capacidad de carga. La estabilización, por otro lado, puede involucrar el uso de materiales adicionales, como cal, cemento o cenizas, para mejorar las propiedades del suelo natural.

El diseño y la preparación de la subrasante requieren una cuidadosa consideración de varios factores geotécnicos, incluyendo el tipo de suelo, la capacidad portante, la humedad y la densidad. Los ingenieros realizan estudios de suelos y pruebas de laboratorio para evaluar estas características y determinar las medidas necesarias para mejorar la subrasante, si es necesario. Por ejemplo, en suelos de baja capacidad portante, puede ser necesario estabilizarlos con aditivos como la cal, el cemento o mediante la incorporación de geotextiles.

La calidad de la subrasante es vital para el desempeño del pavimento. Si la subrasante es inadecuada, es probable que se produzcan asentamientos y deformaciones en el pavimento, lo que puede llevar a fallas prematuras y la necesidad de reparaciones costosas. Por esta razón, antes de la construcción de una carretera, se realizan estudios geotécnicos para evaluar las características del suelo y determinar las medidas necesarias para preparar adecuadamente la subrasante.

Además, La subrasante debe incluir un sistema de drenaje suficiente para evitar la acumulación de agua, que puede comprometer la integridad del suelo y disminuir su CBR. La presencia de agua puede causar la saturación del suelo, lo que disminuye su resistencia y puede conducir a la pérdida de estabilidad del pavimento. Por tanto, el diseño y la construcción de un sistema de drenaje eficiente son componentes esenciales en la preparación de una subrasante duradera y funcional.



2.2.1.1 Importancia de la subrasante

La subrasante es una capa esencial en la construcción de infraestructuras viales, siendo la base sobre la cual se edifica el pavimento. Su importancia radica en su capacidad para proporcionar una superficie estable y uniforme que puede soportar las cargas vehiculares y ambientales a lo largo del tiempo. Una subrasante bien preparada garantiza la durabilidad y el rendimiento óptimo del pavimento, evitando deformaciones y fallas prematuras que pueden surgir por una base inadecuada. (Khan, 2015).

El papel de la subrasante es crucial para la distribución de cargas. Las fuerzas ejercidas por el tráfico vehicular se transmiten desde las capas superiores del pavimento hacia la subrasante. Si esta capa no es capaz de soportar estas cargas de manera uniforme, pueden ocurrir asentamientos diferenciales y deformaciones, lo que lleva a la formación de grietas y baches en la carretera. Por lo tanto, una subrasante bien compactada y estabilizada es esencial para mantener la integridad estructural del pavimento.

La preparación adecuada de la subrasante también es vital para el drenaje del agua. El agua es uno de los principales enemigos de las infraestructuras viales, ya que puede infiltrarse en las capas del pavimento, debilitando el suelo y reduciendo su capacidad de soporte. Una subrasante con un buen sistema de drenaje permite que el agua se evacue eficientemente, previniendo la saturación del suelo y evitando problemas como la erosión y la pérdida de estabilidad. Esto, a su vez, prolonga la vida útil del pavimento y reduce los costos de mantenimiento.

Además, la calidad de la subrasante tiene un impacto directo en el confort y la seguridad del usuario. Una superficie de pavimento que se asienta sobre una subrasante estable ofrece una conducción más suave y segura, minimizando las vibraciones y los impactos que los vehículos experimentan al transitar. Esto no solo mejora la experiencia de conducción, sino que también reduce el desgaste de los vehículos, contribuyendo a una economía de transporte más eficiente. (Khan, 2015).

Su correcta preparación y mantenimiento son esenciales para asegurar la durabilidad, estabilidad y funcionalidad del pavimento, garantizando la seguridad y el confort de los usuarios, así como la eficiencia en el transporte.

2.2.1.2 Funciones de la subrasante

La subrasante cumple varias funciones esenciales en la construcción de infraestructuras viales, siendo una capa crítica que afecta directamente la durabilidad y el rendimiento del pavimento. (Ponce, 2019).

1. Soporte de cargas:

La subrasante es responsable de soportar las cargas transmitidas desde las capas superiores del pavimento, distribuyéndolas de manera uniforme hacia el suelo subyacente. Una subrasante bien preparada puede manejar estas cargas sin experimentar deformaciones excesivas, asegurando la estabilidad del pavimento.

2. Distribución de tensiones:

Esta capa ayuda a distribuir las tensiones generadas por el tráfico vehicular a lo largo de una superficie más amplia. Esto es crucial para evitar puntos de alta presión que podrían provocar fallas localizadas y asentamientos diferenciales.

3. Estabilización de la superficie:

La subrasante proporciona una base estable y uniforme sobre la cual se construye el pavimento. Esta estabilidad es esencial para prevenir movimientos y asentamientos que podrían dañar las capas superiores del pavimento, causando grietas y deformaciones.

4. Drenaje de agua:

Una subrasante bien diseñada incluye un sistema de drenaje eficiente que permite la evacuación del agua, evitando la acumulación y la saturación del suelo. El drenaje adecuado es crucial para mantener la resistencia y la integridad del suelo, previniendo problemas como la erosión y la pérdida de capacidad de soporte.



5. Control de heladas:

en zonas que puedan experimentar temperaturas bajo cero, la subrasante ayuda a minimizar los efectos de las heladas. La expansión y contracción del suelo debido a la congelación y descongelación pueden causar daños significativos al pavimento. Una subrasante bien diseñada puede mitigar estos efectos al proporcionar una barrera térmica adecuada.

6. Prevención de deformaciones:

Al proporcionar una base firme, la subrasante reduce la posibilidad de que el pavimento se deforme bajo cargas repetidas. Esto es fundamental para mantener una superficie de rodadura uniforme y segura para los vehículos.

7. Mejora de la durabilidad del pavimento:

Al cumplir con las funciones mencionadas, la subrasante contribuye significativamente a la longevidad del pavimento. Unos cimientos eficaces y bien drenados disminuyen la necesidad de reparaciones periódicas y prolongan la longevidad de la infraestructura viaria. (Ponce, 2019).

8. Aislamiento de la humedad:

La subrasante actúa como una barrera que impide que la humedad del suelo subyacente afecte las capas superiores del pavimento. Esto es especialmente importante para evitar la degradación de los materiales del pavimento debido a la acción del agua.

En resumen, la subrasante desempeña múltiples funciones que son vitales para la construcción y el mantenimiento de infraestructuras viales duraderas y seguras. Su correcta preparación y diseño son esenciales para asegurar el buen desempeño del pavimento a lo largo del tiempo.

2.2.1.3 Propiedades físicas y mecánicas de la subrasante

Son fundamentales para asegurar la estabilidad y durabilidad del pavimento. Estas propiedades determinan cómo la subrasante soportará las cargas aplicadas y cómo se



comportará bajo diferentes condiciones ambientales. (Cuadros, 2017). A continuación, se detallan estas propiedades:

PROPIEDADES FÍSICAS.

- Densidad y peso específico:

La densidad y el peso específico del suelo de la subrasante son cruciales para evaluar su capacidad de soporte. La densidad se refiere a la masa del suelo por unidad de volumen y es un indicador de cuán compactado está el suelo. Un suelo con mayor densidad y peso específico tiene una mayor capacidad de carga, lo que es esencial para soportar el tráfico vehicular sin sufrir deformaciones significativas. La densidad óptima se logra a través de procesos de compactación adecuados durante la preparación de la subrasante.

- Contenido de humedad:

La humedad del suelo afecta directamente a sus características mecánicas. Un nivel de humedad ideal mejora la cohesión y la resistencia del suelo, mientras que un exceso de humedad puede provocar la saturación, disminuyendo la capacidad portante del suelo y aumentando el peligro de deformación. Regular y gestionar el contenido de humedad es crucial para preservar la estabilidad del subsuelo.

- Granulometría:

La granulometría del suelo se refiere a la distribución del tamaño de sus partículas. Una buena granulometría implica una mezcla adecuada de diferentes tamaños de partículas, lo que resulta en un suelo bien graduado. Un suelo bien graduado tiene mejores propiedades de compactación y estabilidad, lo que contribuye a una subrasante más firme y resistente. La presencia equilibrada de arenas, limos y arcillas asegura una estructura del suelo robusta y menos susceptible a la erosión.



PROPIEDADES MECANICAS.

- **Capacidad de carga:**

La capacidad de carga es una medida de la resistencia del suelo a las deformaciones bajo cargas aplicadas. Una subrasante con alta capacidad de carga puede soportar las tensiones del tráfico sin experimentar asentamientos significativos. Esta propiedad es vital para la estabilidad a largo plazo del pavimento y para evitar fallas prematuras que pueden resultar en costosas reparaciones.

- **Resistencia al corte:**

La resistencia al corte del suelo es su capacidad para resistir esfuerzos cortantes sin fallar. Esta propiedad es esencial para mantener la integridad de la subrasante bajo cargas dinámicas, como el tráfico vehicular. Una alta resistencia al corte previene el desplazamiento y el deslizamiento del suelo, contribuyendo a una base más estable y segura para el pavimento. (Cuadros, 2017).

- **Módulo de elasticidad:**

Un suelo con un módulo de elasticidad alto es más resistente a las deformaciones permanentes, lo que es crucial para mantener una superficie de rodadura uniforme y duradera. Esta propiedad ayuda a distribuir las cargas de manera más efectiva, reduciendo el riesgo de deformaciones localizadas.

- **Compresibilidad:**

La compresibilidad del suelo determina cuánto se compactará bajo la acción de cargas a largo plazo. Suelos con alta compresibilidad pueden experimentar asentamientos significativos, lo que puede afectar negativamente la estabilidad del pavimento. Evaluar y controlar la compresibilidad del suelo es fundamental para evitar problemas de asentamiento y garantizar la durabilidad de la infraestructura vial.

- **Coefficiente de Poisson:**

El coeficiente de Poisson mide la relación entre las deformaciones laterales y longitudinales en un material bajo carga. Esta propiedad es importante para



entender el comportamiento volumétrico del suelo y cómo se expande o contrae bajo cargas. Un coeficiente de Poisson adecuado ayuda a predecir y gestionar las deformaciones del suelo, contribuyendo a un diseño más preciso y seguro de la subrasante.

En resumen, las propiedades de la subrasante son determinantes para su desempeño y durabilidad. Una evaluación adecuada y un control riguroso de estas propiedades aseguran una base sólida y confiable para la construcción de infraestructuras viales, contribuyendo a la seguridad y la eficiencia del transporte.

2.2.1.4 Métodos de evaluación de la capacidad de soporte

La capacidad de la subrasante es una característica crucial para la estabilidad y durabilidad de las infraestructuras viales. Existen varios métodos de evaluación que permiten determinar esta capacidad de manera precisa. (Vigil, 2019).

- **Ensayo de Penetración Estándar (SPT).**

Es una técnica muy utilizada para evaluar la capacidad portante del suelo. Esta prueba se realiza in situ y consiste en empujar un muestreador de suelo convencional en el suelo mediante golpes con un martillo de peso conocido. Se documenta la cantidad de golpes necesarios para penetrar el muestreador hasta una profundidad definida (a menudo 30 cm). La cantidad de impactos, denominada «N», sirve como indicador de la resistencia del suelo. Este número se utiliza para evaluar muchas características del suelo, incluida su capacidad portante.

- **Ensayo de Placa de Carga.**

El ensayo de placa de carga es una técnica in situ para evaluar la capacidad portante del suelo. Este ensayo consiste en la aplicación de una carga vertical sobre una placa rígida de dimensiones predeterminadas, colocada en la superficie del suelo o a una profundidad determinada. Se evalúa el asentamiento de la placa en distintas condiciones de carga. La relación entre la carga aplicada y el asentamiento



medido se utiliza para determinar la capacidad portante del suelo. Esta técnica es particularmente ventajosa para suelos de grano fino y cohesivos superficiales.

- **Ensayo de Cono de Penetración (CPT).**

El ensayo de cono de penetración (Cone Penetration Test, CPT) es un método continuo de evaluación del suelo que utiliza un cono estandarizado que se empuja a una velocidad constante en el suelo. Durante el ensayo, se miden continuamente la resistencia del cono (resistencia a la penetración) y la resistencia de fricción lateral. Los datos obtenidos se utilizan para identificar las propiedades del suelo, incluidos los perfiles de capacidad de soporte. El CPT es particularmente útil para evaluar suelos blandos y determinar la variación de las propiedades del suelo con la profundidad. (Vigil, 2019).

- **Ensayo de California Bearing Ratio (CBR).**

Es un procedimiento de laboratorio que evalúa la resistencia del suelo en circunstancias reguladas. Una muestra de suelo se comprime dentro de un cilindro y se somete a la fuerza de un pistón. La resistencia del suelo se cuantifica como porcentaje de la resistencia de un material estándar, a menudo una base de grava triturada. El valor California Bearing Ratio (CBR) se utiliza para el diseño de pavimentos y la evaluación de la capacidad portante del suelo. Esta evaluación se emplea con frecuencia en la ingeniería de carreteras.

- **Ensayo Triaxial.**

El ensayo triaxial es un método de laboratorio que evalúa la resistencia y la deformabilidad del suelo bajo condiciones de confinamiento controladas. Se coloca una muestra de suelo en una cámara triaxial y se expone a una presión de confinamiento mientras se impone una fuerza axial. Se registran las deformaciones y las fallas del suelo bajo diferentes condiciones de carga. Los resultados del ensayo triaxial se utilizan para determinar parámetros de resistencia al corte, como la cohesión, que son cruciales para evaluar la capacidad de soporte del suelo.

- **Ensayo de Presión con el Penetrómetro Dinámico Ligero (DPL).**

El ensayo con el penetrómetro dinámico ligero (Dynamic Penetration Test, DPL) es una técnica in situ que utiliza un penetrómetro que se introduce en el suelo mediante golpes de un martillo manual. Se registra el número de golpes necesarios para alcanzar diferentes profundidades.

- **Ensayo de Corte Directo.**

Una técnica de laboratorio para determinar la resistencia al cizallamiento del suelo es el ensayo de cizallamiento directo. Una muestra de suelo se coloca en una caja de cizallamiento y se carga horizontalmente mientras se aplica una fuerza vertical como parte de esta prueba. La relación entre la fuerza aplicada y la deformación de la muestra se utiliza para calcular la resistencia al cizallamiento. Los parámetros obtenidos (cohesión y ángulo de fricción) se utilizan para construir cimientos y evaluar la capacidad portante del suelo.

2.2.2 Carreteras afirmadas

Las carreteras afirmadas son vías de comunicación cuya superficie está compuesta por materiales naturales compactados, como gravas, arenas y suelos estabilizados. Estas carreteras se construyen utilizando materiales disponibles localmente y son compactadas en capas para proporcionar una base sólida y duradera. A diferencia de las carreteras pavimentadas, las carreteras afirmadas no utilizan asfalto ni concreto, lo que las hace más económicas y adecuadas para áreas rurales o regiones con recursos limitados. Son cruciales para unir comunidades, permitir el transporte de productos y servicios y fomentar el crecimiento económico local, pero necesitan un mantenimiento más regular debido a su vulnerabilidad a las condiciones meteorológicas y del tráfico. (Nuñez, 2020).

Figura 1*Carretera afirmada*

Nota: Evaluación de las carreteras afirmadas, tomado de GoRe-Puno.

Asimismo, las carreteras afirmadas son un tipo de infraestructura vial que se caracteriza por tener una superficie compuesta por materiales naturales compactados, como gravas, arenas y suelos estabilizados. A diferencia de las carreteras pavimentadas, que utilizan asfalto o concreto, las carreteras afirmadas emplean materiales más simples y económicos, lo que las hace ideales para áreas rurales o regiones con recursos limitados. Este tipo de carretera es fundamental en muchas partes del mundo, ya que proporciona acceso vital entre comunidades, facilita el transporte de bienes y servicios, y contribuye al desarrollo económico local.

2.2.2.1 Características de las carteras afirmadas

Las carreteras afirmadas, también conocidas como carreteras pavimentadas con materiales no asfálticos, son vías cuya superficie de rodadura está compuesta por materiales naturales compactados, como grava, arena o una combinación de estos con un ligante estabilizador. (Gutiérrez, 2017).



a) Materiales utilizados.

Grava y arena: Los materiales más comunes para la superficie de una carretera afirmada son la grava y la arena, seleccionados por su capacidad para compactarse y formar una superficie sólida.

Estabilizadores: En algunos casos, se pueden utilizar estabilizadores como cal, cemento o materiales geosintéticos para mejorar las propiedades mecánicas del suelo y aumentar su resistencia.

b) Construcción y mantenimiento.

Preparación de la subrasante: Igual que en otras carreteras, la subrasante debe ser bien preparada y compactada para proporcionar una base estable.

Compactación: Los materiales de la capa de rodadura se compactan a fin de reducir los vacíos y aumentar la densidad, lo que mejora la capacidad portante y la durabilidad de la carretera.

Mantenimiento regular: Las carreteras afirmadas requieren mantenimiento periódico, como nivelación y reposición de material, para reparar los daños causados por el tráfico y las condiciones climáticas.

c) Propiedades físicas y mecánicas.

Resistencia al desgaste: Aunque no son tan duraderas como las carreteras asfaltadas, las afirmadas ofrecen una resistencia razonable al desgaste bajo tráfico ligero a moderado.

Permeabilidad: Estas carreteras suelen ser más permeables que las asfaltadas, lo que facilita el drenaje de agua, pero también puede llevar a una mayor erosión si no se maneja adecuadamente.

d) Desempeño bajo condiciones climáticas.

Sensibilidad a la humedad: La efectividad de una carretera afirmada puede verse afectada por las condiciones de humedad, ya que la presencia de agua puede debilitar la compactación y la cohesión del material de superficie.

Resistencia a las heladas: En regiones frías, pueden ser susceptibles al levantamiento por heladas, lo que requiere un diseño adecuado para mitigar estos efectos.

e) Costos.

Costo inicial: Las carreteras afirmadas son generalmente más económicas de construir que las asfaltadas debido a los materiales menos costosos y la menor complejidad de construcción.

Costo de mantenimiento: Si bien el costo inicial es bajo, el mantenimiento puede ser más frecuente y, a largo plazo, puede acumularse, especialmente en áreas con alto tráfico o condiciones climáticas adversas. (Gutiérrez, 2017).

f) Aplicaciones y usos.

Tráfico ligero a moderado: Son ideales para áreas rurales y caminos de acceso donde el tráfico vehicular es relativamente bajo.

Uso temporal: A menudo se utilizan como soluciones temporales o provisionales hasta que se pueda justificar o financiar una superficie pavimentada más permanente.

Entornos rurales y agrícolas: Son comunes en áreas rurales y agrícolas, donde las demandas de tráfico no justifican una inversión en pavimento asfaltado.

En resumen, las carreteras afirmadas son una opción viable y económica para áreas con tráfico ligero a moderado, ofreciendo una solución rápida y de bajo costo, aunque con la necesidad de un mantenimiento más frecuente y cuidadoso.

2.2.2.2 Ventajas y desventajas de las carteras afirmadas

Las carreteras afirmadas, debido a su construcción sencilla y económica, presentan varias ventajas y desventajas que deben ser consideradas al elegir este tipo de infraestructura vial. (Mendoza, 2024).



Ventajas:

○ **Costo-Efectividad:**

Las carreteras afirmadas son significativamente más económicas de construir en comparación con las carreteras pavimentadas. Utilizan materiales naturales disponibles localmente, lo que reduce los costos de transporte y adquisición de materiales. Esta economía en costos las hace especialmente adecuadas para áreas rurales y regiones con presupuestos limitados.

○ **Uso de materiales locales:**

La construcción de carreteras afirmadas promueve el uso de materiales naturales locales, como gravas y arenas. Esto no solo reduce los costos de transporte, sino que también fomenta la economía local y el empleo, al aprovechar los recursos disponibles en la región.

○ **Facilidad de construcción:**

El proceso de construcción de carreteras afirmadas es relativamente sencillo y rápido. No requiere maquinaria pesada ni tecnologías complejas, lo que permite una rápida implementación en áreas donde se necesita mejorar la conectividad de manera urgente.

○ **Mantenimiento sencillo y económico:**

El mantenimiento de las carreteras afirmadas es simple y económico. Las reparaciones pueden realizarse rápidamente agregando y compactando material adicional en áreas dañadas. Esto es particularmente útil en regiones donde el mantenimiento de carreteras pavimentadas sería más costoso y complicado.

○ **Flexibilidad:**

Las carreteras afirmadas pueden adaptarse fácilmente a cambios en el uso del suelo y en la demanda de tráfico. Pueden ser mejoradas o pavimentadas en el futuro si se dispone de recursos adicionales, lo que ofrece una solución provisional flexible que puede evolucionar con las necesidades de la comunidad.

Desventajas:○ **Durabilidad limitada:**

Las carreteras afirmadas tienen una vida útil más corta en comparación con las carreteras pavimentadas. Están más expuestas al desgaste debido al tráfico vehicular y las condiciones climáticas, lo que puede llevar a un deterioro más rápido y a la necesidad de mantenimiento frecuente. (Mendoza, 2024).

○ **Condiciones de rodadura:**

La superficie de las carreteras afirmadas puede ser menos uniforme y más propensa a la formación de baches y ondulaciones. Esto puede resultar en una conducción menos cómoda y segura, especialmente a altas velocidades. La calidad de la rodadura puede variar significativamente con el tiempo y el clima.

○ **Susceptibilidad al clima:**

Las carreteras afirmadas son más vulnerables a los efectos adversos del clima, especialmente la lluvia y el deshielo. La acumulación de agua y la saturación del material granular pueden reducir la capacidad de soporte del suelo, llevando a deformaciones y erosión.

○ **Mayor necesidad de mantenimiento:**

Debido a su menor durabilidad y susceptibilidad al clima, las carreteras afirmadas requieren un mantenimiento más frecuente y continuo. Esto puede ser un desafío en áreas donde los recursos para mantenimiento son limitados.

○ **Limitaciones en el tráfico pesado:**

Las carreteras afirmadas no son adecuadas para soportar tráfico pesado de manera sostenida. Su capacidad de carga es inferior a la de las carreteras pavimentadas, lo que limita su uso en áreas con tráfico intenso o vehículos de carga pesada.

Conclusión: las carreteras afirmadas ofrecen una solución económica y práctica para mejorar la conectividad en áreas rurales y regiones con recursos limitados. Sus ventajas incluyen el bajo costo, el uso de materiales locales y la facilidad de construcción y

mantenimiento. Sin embargo, presentan desventajas en términos de durabilidad, calidad de rodadura y susceptibilidad a las condiciones climáticas. La elección de construir carreteras afirmadas debe basarse en un análisis equilibrado de estas ventajas y desventajas, considerando las necesidades específicas de la comunidad y los recursos disponibles.

2.2.2.3 Aplicaciones de las carteras afirmadas

Las carreteras afirmadas son vías de comunicación que no cuentan con una capa de pavimento rígido, como asfalto o concreto, sino que están construidas con una capa de material granular, compactado para proporcionar una superficie de rodadura. Son una opción común en zonas rurales y áreas de bajo tráfico debido a su bajo costo y facilidad de mantenimiento. (Figuroa & Mamani, 2019). A continuación, se detallan las principales aplicaciones de las carreteras afirmadas:

✓ **Conexión rural y acceso a zonas agrícolas.**

Las carreteras afirmadas son esenciales para conectar áreas rurales, proporcionando acceso a comunidades y pueblos que, de otra forma, estarían aislados. Estas vías permiten el tránsito de vehículos y personas en regiones agrícolas, facilitando el transporte de productos, herramientas y maquinaria. Al permitir el acceso a mercados y centros de distribución, estas carreteras impulsan el desarrollo económico local y mejoran la calidad de vida de las comunidades rurales.

✓ **Rutas de acceso en zonas de difícil acceso.**

En áreas montañosas, selváticas o de terreno complicado, las carreteras afirmadas son una opción viable debido a que se adaptan bien a terrenos irregulares y no requieren tanta infraestructura como las carreteras pavimentadas. Estas vías se construyen de forma más rápida y con menor impacto ambiental, lo cual es una ventaja en zonas ecológicamente sensibles. Además, ofrecen un acceso temporal



o permanente a zonas que pueden estar aisladas durante temporadas de lluvias o condiciones extremas.

✓ **Infraestructura en proyectos de minería y explotación forestal.**

Las carreteras afirmadas son comúnmente empleadas en proyectos de minería y explotación forestal, donde es necesario construir caminos temporales para el transporte de materiales, maquinaria y productos. Estas vías permiten el acceso a las áreas de explotación sin una inversión excesiva en infraestructura, y son especialmente útiles cuando el proyecto tiene una duración limitada. Además, pueden ser restauradas o cerradas después de la finalización del proyecto.

✓ **Accesos temporales en obras de construcción.**

Durante la construcción de proyectos, como presas, puentes, carreteras pavimentadas o edificios, se necesitan caminos temporales para el transporte de materiales y el acceso de maquinaria pesada. Las carreteras afirmadas son una opción eficiente y económica para estas necesidades temporales, ya que pueden ser construidas y retiradas con relativa facilidad una vez que la obra finaliza. Estas vías también permiten el tránsito de camiones y equipo sin requerir pavimentación costosa.

✓ **Carreteras de bajo costo para zonas con tráfico ligero.**

En áreas donde el tráfico es bajo o intermitente, las carreteras afirmadas son una solución rentable para el transporte de personas y bienes. Estas carreteras son adecuadas para zonas donde la frecuencia y el peso de los vehículos son limitados, como caminos de acceso a granjas, ranchos, reservas naturales o áreas recreativas. La baja inversión inicial y los costos de mantenimiento razonables las convierten en una alternativa práctica y funcional en estas condiciones.

✓ **Vías de emergencia y evacuación en áreas vulnerables.**

Las carreteras afirmadas pueden ser implementadas como rutas de emergencia o evacuación en áreas vulnerables a desastres naturales, como inundaciones, incendios forestales. Estas vías ofrecen una solución rápida y económica para



habilitar caminos temporales que permitan la salida de las personas en caso de emergencia, así como el ingreso de vehículos de rescate y abastecimiento. Son especialmente útiles en zonas donde no existe una infraestructura vial adecuada para responder a situaciones de crisis. (Figueroa & Mamani, 2019).

✓ **Acceso a áreas turísticas y recreativas.**

En zonas turísticas, como parques nacionales, áreas de conservación y lugares recreativos, las carreteras afirmadas se emplean para facilitar el acceso de visitantes y vehículos ligeros. Estas vías permiten la llegada a lugares remotos o de difícil acceso sin la necesidad de construir una infraestructura rígida que afecte el entorno natural. Además, su menor impacto visual y ambiental hace que sean una opción adecuada para proteger el paisaje en zonas ecológicamente sensibles.

✓ **Rutas de servicio para infraestructura energética.**

En proyectos de infraestructura energética, como parques eólicos, instalaciones de energía solar o líneas de transmisión eléctrica, las carreteras afirmadas se emplean para facilitar el acceso a las instalaciones durante su construcción y mantenimiento. Estas vías permiten que el personal y el equipo especializado lleguen a sitios que suelen ubicarse en zonas remotas, donde no sería viable construir una carretera pavimentada. Además, son fáciles de reparar y mantener en caso de deterioro.

✓ **Reducción de costos en zonas con presupuesto limitado.**

En algunas regiones o municipios con presupuesto limitado para infraestructura vial, las carreteras afirmadas representan una opción más accesible que las carreteras pavimentadas. Estas vías permiten extender la red de carreteras sin necesidad de grandes inversiones, proporcionando una superficie adecuada para el tránsito en zonas que carecen de infraestructura vial desarrollada. Su bajo costo inicial y su mantenimiento económico las convierten en una solución viable para administraciones locales que buscan mejorar la conectividad con un presupuesto ajustado.

✓ **Caminos de acceso en proyectos agrícolas e industriales.**

En proyectos agrícolas e industriales, como granjas, instalaciones de procesamiento y fábricas, las carreteras afirmadas se utilizan para el transporte de materias primas, productos y maquinaria. Este tipo de vía facilita el movimiento dentro de las instalaciones y reduce el polvo y el barro, mejorando la logística de transporte sin necesidad de pavimentación. Además, en muchas de estas aplicaciones, el tráfico es intermitente y ligero, lo que hace que una carretera afirmada sea suficiente para cumplir con los requisitos de la operación.

✓ **Rutas para el transporte forestal.**

En zonas de actividad forestal, las carreteras afirmadas se emplean para el acceso y transporte de productos forestales, como madera y derivados. Estas vías permiten el ingreso de maquinaria y camiones de carga, facilitando la extracción de recursos naturales. En este tipo de aplicaciones, las carreteras afirmadas son preferidas, ya que permiten el acceso temporal sin la construcción de infraestructura permanente que afecte la biodiversidad de la zona.

✓ **Rutas para actividades de exploración y prospección.**

En proyectos de exploración y prospección, como la búsqueda de recursos minerales o estudios de impacto ambiental, las carreteras afirmadas permiten el acceso temporal a áreas de difícil acceso. Estas vías permiten la movilización de equipo y personal para realizar estudios geológicos, muestreos y exploración sin la necesidad de infraestructura fija, lo que minimiza el impacto ambiental. Además, pueden ser desmanteladas una vez que el proyecto de exploración ha concluido.

2.2.2.4 Materiales para las carteras afirmadas

La elección de materiales para carreteras afirmadas es un proceso crucial que afecta la durabilidad, funcionalidad y mantenimiento de la vía. Los materiales seleccionados deben cumplir con ciertos requisitos de calidad para soportar el tránsito y las condiciones climáticas del área. (Canaza, 2023). A continuación, se describen los



principales factores y criterios que se consideran en la selección de materiales para carreteras afirmadas:

1. Disponibilidad y accesibilidad de materiales.

- Uno de los primeros factores en la elección de materiales es su disponibilidad en las proximidades del sitio de construcción. La cercanía reduce los costos de transporte y facilita el mantenimiento posterior de la carretera. Materiales como grava, arena, piedra triturada y arcilla son comúnmente utilizados en carreteras afirmadas debido a su fácil acceso en muchas regiones.
- La elección también depende de la accesibilidad a canteras, bancos de materiales o áreas de extracción cercanas, de modo que los materiales puedan ser transportados con facilidad y a un costo razonable.

2. Propiedades mecánicas y durabilidad.

- Los materiales utilizados deben poseer propiedades mecánicas adecuadas, como una alta resistencia, baja absorción de agua y buena resistencia al desgaste. Estas propiedades aseguran que la carretera pueda soportar el tráfico, la carga y las condiciones ambientales sin deteriorarse rápidamente.
- La durabilidad es fundamental, especialmente en áreas con tráfico intenso o condiciones climáticas extremas, ya que evita la formación de baches, polvo excesivo y el desgaste prematuro de la superficie de rodadura.

3. Gradación y tamaño de las partículas.

- La gradación, o distribución del tamaño de las partículas, es clave para lograr una buena compactación y estabilidad en la carretera afirmada. Una mezcla de partículas gruesas y finas ayuda a reducir el volumen de vacíos, proporcionando una estructura compacta y firme.
- Generalmente, los materiales de diferentes tamaños se combinan para formar una mezcla bien graduada que permita una mejor interconexión de partículas y, a su vez, mayor resistencia al tráfico y al clima.



4. Plasticidad y cohesión.

- La plasticidad es la capacidad de un material para deformarse sin fracturarse, lo cual es importante en ciertos materiales, como la arcilla, que ayudan a unir las partículas y dar cohesión a la superficie. Los materiales con un índice de plasticidad moderado son preferidos para proporcionar una mayor estabilidad y resistencia en la capa superficial. (Canaza, 2023).
- Sin embargo, un exceso de plasticidad puede causar problemas de deformación en condiciones de humedad. Por esta razón, el índice de plasticidad debe evaluarse cuidadosamente para asegurar que el material mantenga su forma y resistencia en diferentes condiciones climáticas.

5. Drenaje y permeabilidad.

- Los materiales seleccionados deben permitir un drenaje adecuado para evitar la acumulación de agua en la superficie o dentro de la carretera, ya que el agua puede debilitar la estructura y provocar deformaciones o baches. La permeabilidad moderada es deseable en materiales de la capa superficial para permitir el paso de agua sin que se formen charcos.
- En áreas con alta pluviometría, los materiales que faciliten el drenaje son especialmente importantes, ya que ayudan a prevenir problemas de erosión, saturación y el deterioro rápido de la carretera.

6. Estabilidad en condiciones húmedas.

- En zonas donde el clima es húmedo o propenso a lluvias frecuentes, es importante que los materiales elegidos tengan una buena estabilidad en condiciones húmedas. Materiales como ciertas arcillas expansivas pueden absorber agua y perder su estabilidad, causando deformaciones en la superficie de la carretera.



- Para asegurar la estabilidad en áreas húmedas, se suelen utilizar materiales que no se expandan o contraigan significativamente al absorber agua, o se aplican técnicas de estabilización, como el uso de cal o cemento.

7. Resistencia a la abrasión y desgaste.

- Los materiales de la superficie de rodadura deben ser resistentes al desgaste, especialmente en carreteras con tráfico moderado o pesado. Materiales duros, como grava y piedra triturada, son comunes para la capa superficial debido a su resistencia al desgaste y su capacidad de soportar el tránsito de vehículos sin perder su forma o fracturarse. (Canaza, 2023).
- La resistencia a la abrasión es evaluada mediante pruebas específicas, como el ensayo de abrasión de Los Ángeles, para asegurar que los materiales seleccionados puedan resistir el uso continuo sin desintegrarse.

8. Compatibilidad con el suelo local.

- La compatibilidad del material con el suelo subyacente es un aspecto importante para evitar problemas de asentamiento y estabilidad. Los materiales seleccionados deben interactuar bien con el suelo existente para proporcionar una base estable y minimizar problemas de compactación.
- En algunos casos, es necesario estabilizar el suelo con aditivos, como cal o cemento, para mejorar la cohesión y capacidad de soporte antes de colocar la capa de material afirmado.

9. Facilidad de compactación.

- La compactación es un proceso fundamental en la construcción de carreteras afirmadas, ya que aumenta la densidad y la resistencia del material. Los materiales seleccionados deben ser fácilmente compactables, de modo que se logre una estructura estable y resistente.



- Materiales como la grava y la piedra triturada, que tienen buena angularidad y gradación, facilitan la compactación y reducen el riesgo de asentamiento a lo largo del tiempo.

10. Mantenimiento y disponibilidad a largo plazo.

- La elección de materiales también se considera en función del mantenimiento a largo plazo de la carretera. Es ideal seleccionar materiales que sean fácilmente reparables o reemplazables, ya que las carreteras afirmadas requieren mantenimiento regular, especialmente en áreas de alto tráfico o en climas variables. (Canaza, 2023).
- La disponibilidad de materiales en el área es crucial, ya que permite realizar reparaciones de manera oportuna y con un costo razonable, lo que prolonga la vida útil de la carretera.

11. Costo y presupuesto.

- Los costos de los materiales son una consideración importante en la construcción de carreteras afirmadas, especialmente en zonas rurales o de bajo presupuesto. La elección de materiales locales y de bajo costo, como gravas y arenas de la región, puede reducir considerablemente el costo total de la obra.
- Sin embargo, el costo debe balancearse con la calidad y durabilidad del material. Optar por materiales económicos que no cumplan con los requisitos puede resultar en un mayor costo de mantenimiento y una vida útil más corta para la carretera.

12. Pruebas y normativas locales.

- La selección de materiales debe cumplir con las normativas locales de construcción y transporte, así como con los estándares técnicos de calidad. Las pruebas de laboratorio son fundamentales para analizar propiedades como



la granulometría, resistencia, plasticidad y permeabilidad de los materiales antes de su uso.

- En muchos casos, los gobiernos locales establecen normas específicas para carreteras afirmadas en función de factores como el tipo de tráfico y las condiciones climáticas. Cumplir con estas regulaciones garantiza que la carretera sea segura, funcional y duradera.

Conclusión:

La elección de materiales para carreteras afirmadas requiere un análisis cuidadoso de factores como la resistencia, la durabilidad, la estabilidad en condiciones húmedas y la facilidad de compactación. Utilizar materiales locales y adecuados para las condiciones del terreno y el clima garantiza que la carretera afirmada sea segura, económica y capaz de soportar el uso previsto.

2.2.3 Carreteras no pavimentadas

Son vías de transporte cuya superficie no está recubierta por materiales bituminosos, concretos o asfaltos, sino que están compuestas principalmente por materiales naturales como gravas, arenas, arcillas y suelos estabilizados. Estas carreteras se encuentran comúnmente en áreas rurales, zonas agrícolas y regiones con recursos limitados, donde la infraestructura vial pavimentada no es viable debido a restricciones económicas o de terreno. La construcción de carreteras no pavimentadas implica la preparación y nivelación del terreno, seguido de la aplicación y compactación de capas sucesivas de material granular para crear una base firme y duradera. (Urbano & Vargas, 2019).

El mantenimiento de estas carreteras es crucial para asegurar su funcionalidad, ya que son más susceptibles a las inclemencias del tiempo, el tráfico y la erosión. Las ventajas de las carreteras no pavimentadas incluyen su menor costo de construcción y mantenimiento inicial, el uso de materiales locales y su flexibilidad en adaptarse a cambios en el uso del suelo. Sin embargo, también presentan desventajas significativas, como una



mayor necesidad de mantenimiento, menor comodidad de rodadura, y una menor capacidad para soportar tráfico pesado de manera continua. La implementación de un adecuado sistema de drenaje es esencial para prolongar su vida útil y minimizar los problemas de erosión y acumulación de agua.

Características principales de las carreteras no pavimentadas.

Las características no pavimentadas presentan varias características distintivas:

- **Superficie variable:** Pueden estar cubiertas de tierra, grava o una mezcla de ambos. La calidad de la superficie puede variar significativamente debido a la erosión y el desgaste causado por el tráfico y las condiciones climáticas
- **Propensas a la erosión:** Debido a la falta de pavimento, estas carreteras son susceptibles a la erosión, lo que puede llevar a la formación de surcos y baches. La lluvia y el tráfico constante pueden agravar estos problemas, requiriendo mantenimiento regular para mantenerse transitables
- **Generación de polvo:** Durante períodos secos, el tráfico puede levantar polvo, lo que afecta la visibilidad y la calidad del aire. El polvo también puede tener impactos negativos en la salud humana y en la vegetación cercana
- **Necesidad de mantenimiento:** A diferencia de las carreteras pavimentadas, las no pavimentadas requieren mantenimiento frecuente, como el relleno de baches, la nivelación y el control del polvo mediante riego o la aplicación de supresores de polvo.

Importancia de las carreteras no pavimentadas.

Las carreteras no pavimentadas juegan un papel crucial en diversas áreas:

- **Acceso rural:** Proporcionan acceso esencial a áreas rurales y remotas, conectando comunidades que de otro modo estarían aisladas.
- **Costo-efectividad:** La construcción y el mantenimiento de carreteras no pavimentadas son significativamente más baratos que las carreteras

pavimentadas, lo que las hace una opción viable en regiones con limitaciones presupuestarias. (Urbano & Vargas, 2019).

- **Flexibilidad y adaptación:** Son más fáciles de modificar y adaptar en comparación con las carreteras pavimentadas, permitiendo cambios en respuesta a las condiciones climáticas y las necesidades de tráfico
- **Impacto ambiental:** Aunque tienen sus desventajas ecológicas, como la erosión y la generación de polvo, su construcción tiene un menor impacto inicial en comparación con las carreteras pavimentadas que requieren la extracción y el transporte de materiales como asfalto y concreto.

En resumen, las carreteras no pavimentadas son una parte integral de la infraestructura en muchas regiones, especialmente en áreas rurales. Sus características y la necesidad de mantenimiento constante reflejan tanto los desafíos como las ventajas que ofrecen en términos de accesibilidad y costo.

2.2.3.1 Características de las carreteras no pavimentadas

Las carreteras sin pavimentar, también conocidas como carreteras de superficie natural o afirmadas, son vías que no cuentan con una capa de pavimento rígido, como asfalto o concreto. En lugar de esto, están construidas a partir de materiales naturales y compactados, como grava, arena, piedra triturada o arcilla. Estas carreteras son comunes en áreas rurales y zonas con bajo tráfico debido a su bajo costo y facilidad de construcción. A continuación, se describen las principales características de las carreteras no pavimentadas:

a. Superficie de rodadura natural.

- Las carreteras no pavimentadas tienen una superficie compuesta de materiales naturales, como tierra, grava o una mezcla de ambos. La superficie es irregular y menos uniforme que las carreteras pavimentadas, lo que puede afectar la comodidad y velocidad de los vehículos al transitar por ellas.



- La superficie natural proporciona tracción a los vehículos en condiciones secas, pero puede volverse resbaladiza o inestable en presencia de lluvia o nieve, lo que limita su uso en ciertos climas o épocas del año.

b. Bajo costo de construcción.

- La construcción de carreteras no pavimentadas es considerablemente más económica que las pavimentadas, ya que no requieren asfalto, concreto ni capas de pavimento elaboradas. Los materiales utilizados suelen ser locales, lo que reduce los costos de transporte y permite una rápida construcción.
- Esta característica hace que las carreteras no pavimentadas sean ideales para zonas rurales, comunidades de bajos recursos y áreas donde no se justifica una inversión alta en infraestructura.

c. Facilidad y rapidez de construcción.

- Las carreteras no pavimentadas pueden construirse de manera rápida y con maquinaria básica, como motoniveladoras, rodillos y camiones para el transporte de materiales. Esto permite su implementación en zonas donde se necesita una vía de acceso de manera urgente.
- La facilidad de construcción es especialmente útil en áreas de difícil acceso, terrenos montañosos o regiones remotas donde es difícil transportar materiales para una carretera pavimentada.

d. Menor capacidad de carga.

- En comparación con las carreteras pavimentadas, las no pavimentadas tienen una menor capacidad de soportar cargas pesadas de manera prolongada. Estas vías son más susceptibles a deformaciones y baches cuando soportan el tránsito de vehículos pesados, lo que puede reducir su vida útil.
- Debido a esta característica, son recomendadas para tráfico ligero o moderado, como vehículos de pasajeros y pequeños camiones, y son menos adecuadas para tráfico intenso de vehículos pesados o de gran tonelaje.



e. Mayor mantenimiento requerido.

- Las carreteras no pavimentadas requieren mantenimiento frecuente para corregir los problemas de desgaste, polvo, baches y erosión. El paso constante de vehículos, junto con factores climáticos como lluvias y vientos, afecta rápidamente la superficie, generando la necesidad de nivelación y relleno periódico.
- El mantenimiento incluye la remoción de material suelto, la nivelación de la superficie y, en algunos casos, la adición de materiales de relleno. Este mantenimiento es fundamental para garantizar que la vía sea transitable y segura para los usuarios.

f. Mayor generación de polvo.

- Las carreteras no pavimentadas suelen generar polvo, especialmente en condiciones secas y en climas áridos. El polvo puede reducir la visibilidad y ser perjudicial para la salud de los usuarios y de las personas que viven cerca de la vía. También puede afectar el rendimiento de los vehículos al infiltrarse en el motor y otros componentes.
- Para controlar el polvo, se pueden aplicar productos estabilizantes como cloruro de calcio o magnesio, aunque esto representa un costo adicional y es una medida temporal que debe repetirse.

g. Susceptibilidad a las condiciones climáticas.

- Estas carreteras son sensibles a los cambios climáticos. En épocas de lluvias intensas, pueden volverse fangosas, lo que dificulta el tránsito y puede hacer que algunos tramos se vuelvan intransitables. En climas fríos, pueden presentar problemas de congelamiento y descongelamiento, generando deformaciones en la superficie.
- Debido a esta susceptibilidad, en muchas áreas las carreteras no pavimentadas pueden ser transitables solo durante ciertas épocas del año y



pueden requerir intervenciones adicionales para garantizar su operatividad en condiciones climáticas adversas.

h. Flexibilidad y adaptabilidad al terreno.

- Las carreteras no pavimentadas se adaptan bien a terrenos irregulares y pueden construirse con facilidad en zonas montañosas o de difícil acceso. Su flexibilidad permite construir rutas sin necesidad de realizar grandes modificaciones en el terreno, lo que reduce el impacto ambiental y facilita la construcción en áreas remotas.
- Esta adaptabilidad es especialmente útil en proyectos temporales, como caminos de acceso a sitios de exploración, obras de construcción o zonas forestales.

i. Impacto ambiental reducido en la construcción.

- La construcción de carreteras no pavimentadas suele tener un impacto ambiental menor en comparación con las pavimentadas. Al utilizar materiales naturales y locales, se reduce el uso de recursos y las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el transporte de materiales y la producción de asfalto o concreto.
- Además, este tipo de vía es menos invasiva y permite que, en caso de necesitarse solo de forma temporal, el área pueda restaurarse con mayor facilidad.

j. Ideal para tráfico ligero y usos temporales.

- Las carreteras no pavimentadas son adecuadas para áreas de bajo tráfico o donde se requiere un acceso temporal, como en proyectos de construcción, actividades agrícolas, minería o turismo en zonas naturales. Son funcionales para caminos de acceso y tránsito ocasional, donde no se justifica una inversión en pavimento.



- Debido a sus características, son una opción rentable y práctica para zonas de acceso limitado o con condiciones especiales de tráfico.

k. Posible erosión y desgaste de la superficie.

- La erosión y el desgaste son problemas comunes en las carreteras no pavimentadas, especialmente en terrenos inclinados y en áreas de fuertes lluvias. El agua puede arrastrar el material de la superficie, formando surcos y baches que dificultan el tránsito. La erosión puede requerir intervenciones de drenaje, como zanjas y alcantarillas, para reducir el impacto de las lluvias.
- La falta de una capa de protección impermeable hace que la superficie sea más vulnerable a los fenómenos naturales y, por ende, que el mantenimiento sea más frecuente.

l. Menor comodidad para los usuarios.

- La superficie irregular y menos estable de las carreteras no pavimentadas puede resultar en una conducción menos cómoda. Los baches, surcos y la variabilidad de la textura pueden causar vibraciones y movimientos bruscos en los vehículos, lo que incrementa el desgaste de los mismos y reduce la comodidad de los pasajeros.
- A velocidades altas, estas vías pueden resultar incómodas e incluso peligrosas, ya que los neumáticos pierden estabilidad y el vehículo puede resbalar, especialmente en condiciones húmedas o de barro.

2.2.3.2 Tipos comunes de carreteras no pavimentadas

Existen varios tipos de carreteras no pavimentadas, cada una adaptada a las necesidades específicas del terreno, el tráfico y las condiciones climáticas. Estos tipos de carreteras suelen utilizar materiales naturales y compactados, y se emplean principalmente en áreas rurales, regiones de bajo tráfico y en accesos temporales. (Gutiérrez, 2017). A continuación, se detallan los tipos comunes de carreteras no pavimentadas:



✚ Carreteras de tierra.

- Son las carreteras no pavimentadas más simples, formadas por la propia tierra del lugar sin ningún tipo de agregado adicional. Se crean nivelando el terreno natural para proporcionar una superficie de rodadura, pero no se aplican capas de materiales específicos para mejorar su resistencia.
- Este tipo de carretera es muy económica y fácil de construir, pero es altamente vulnerable a las condiciones climáticas. Durante las lluvias, puede volverse fangosa e intransitable, mientras que en condiciones secas genera polvo. Son comunes en áreas rurales con muy bajo tráfico y uso ocasional.

✚ Carreteras de grava.

- Las carreteras de grava utilizan una capa de material granular, como grava o piedra triturada, sobre una base de suelo compactado. La grava proporciona una mejor tracción y estabilidad, además de ayudar al drenaje, ya que permite el paso del agua a través de la superficie.
- Estas carreteras son más duraderas que las de tierra y ofrecen una superficie de rodadura más firme, siendo adecuadas para zonas rurales y áreas con tráfico ligero a moderado. También requieren menos mantenimiento en comparación con las carreteras de tierra y son comunes en áreas donde se necesita una vía más estable, como caminos de acceso agrícola o forestal.

✚ Carreteras de balasto.

- Las carreteras de balasto utilizan materiales granulares gruesos, como piedras o balasto ferroviario, que proporcionan una mayor resistencia y capacidad de carga que la grava común. Este tipo de carretera es útil en áreas con tránsito de vehículos pesados o donde se necesita una estructura más resistente para soportar cargas superiores.
- Son comunes en proyectos mineros, caminos forestales y accesos industriales, donde el tráfico de vehículos pesados es constante y se requiere una superficie duradera. Sin embargo, el balasto puede generar una conducción menos



cómoda debido al tamaño de las piedras, y su construcción implica un mayor costo en comparación con las carreteras de grava.

✚ Carreteras de arena estabilizada.

- Este tipo de carretera utiliza arena como material de base, que luego es compactada y, en algunos casos, estabilizada con cemento o productos químicos para mejorar su cohesión y resistencia. La arena estabilizada proporciona una superficie más firme que una carretera de arena suelta y reduce el riesgo de erosión.
- Estas carreteras son comunes en zonas costeras y desérticas donde la arena es el material predominante. La estabilización de la arena permite un tránsito más seguro y cómodo, pero su construcción puede implicar el uso de estabilizadores, aumentando el costo inicial. (Gutiérrez, 2017).

✚ Carreteras afirmadas.

- Las carreteras afirmadas cuentan con una capa superficial de material granular (grava, piedra triturada o una mezcla de ambos) compactada sobre una base de suelo. Este tipo de carretera se caracteriza por su firmeza y capacidad para soportar tráfico ligero y moderado sin deformarse fácilmente.
- Las carreteras afirmadas son comunes en áreas rurales y como caminos de acceso en proyectos temporales, como obras de construcción, agricultura y actividades mineras. Son relativamente económicas y requieren mantenimiento periódico para conservar la calidad de la superficie.

✚ Carreteras de macadán.

- La carretera de macadán es un tipo de carretera afirmada que utiliza una base de piedras grandes cubiertas por capas de piedra triturada de menor tamaño. Estas capas se compactan para formar una estructura firme y bien integrada, que ofrece buena resistencia y capacidad de drenaje.
- Este tipo de carretera fue inventado por el ingeniero John Loudon McAdam y es conocido por su durabilidad y capacidad de soportar tráfico moderado.

Aunque las carreteras de macadán fueron comunes en el pasado, hoy en día se emplean principalmente en áreas rurales o como base para futuras carreteras pavimentadas.

✚ Carreteras de ripio.

- Las carreteras de ripio son similares a las de grava, pero en lugar de grava pequeña, utilizan piedras de tamaño mediano, conocidas como ripio. Este tipo de carretera ofrece una superficie de rodadura relativamente estable y es común en regiones montañosas y áreas con pendientes.
- El ripio proporciona buena tracción y es menos susceptible a la erosión en comparación con el suelo natural, lo que hace que estas carreteras sean adecuadas para zonas con condiciones climáticas adversas. Sin embargo, el ripio puede desgastarse con el tiempo y generar polvo, por lo que requiere mantenimiento periódico.

✚ Carreteras de arcilla estabilizada.

- Las carreteras de arcilla estabilizada utilizan arcilla mezclada con otros materiales o con estabilizadores, como cal o cemento, para mejorar su cohesión y resistencia. La arcilla compactada proporciona una superficie relativamente firme y menos susceptible a la erosión, aunque puede volverse resbaladiza en condiciones de humedad.
- Este tipo de carretera es común en regiones donde la arcilla está disponible y se necesita una superficie de tránsito económico. La estabilización con cal o cemento ayuda a reducir la plasticidad y mejora la durabilidad en condiciones húmedas.

✚ Carreteras de bauxita triturada.

- La bauxita triturada es un material utilizado en carreteras no pavimentadas, especialmente en áreas donde se requiere una superficie antideslizante. Este tipo de material ofrece excelente tracción y es resistente al desgaste, lo que lo hace ideal en caminos de montañas o en zonas de alta humedad.



- La bauxita triturada es más costosa que otros materiales como la grava, por lo que se emplea principalmente en tramos de carreteras críticas donde la seguridad es primordial, como caminos en pendientes o curvas cerradas.

Carreteras de caliche.

- El caliche es un material sedimentario natural compuesto de arena, arcilla y carbonato de calcio, que se encuentra en áreas áridas. Las carreteras de caliche son comunes en zonas desérticas, ya que el material es abundante y proporciona una superficie de rodadura relativamente firme y estable en climas secos. (Gutiérrez, 2017).
- Aunque es susceptible a la erosión en condiciones de humedad, el caliche es un material económico y fácil de compactar, lo que lo hace ideal para carreteras rurales en zonas áridas.

Carreteras de piedra compactada.

- Este tipo de carretera utiliza una capa de piedras grandes y medianas que se compactan para formar una superficie sólida. A diferencia de las carreteras de macadán, las piedras no se gradúan en capas, sino que se colocan y compactan directamente sobre la base.
- Las carreteras de piedra compactada son comunes en áreas rurales y en terrenos montañosos, donde es difícil transportar otros materiales. Ofrecen una superficie resistente y duradera, aunque pueden ser incómodas para el tránsito de vehículos ligeros debido a la rugosidad de las piedras.

En conclusión, cada tipo de carretera no pavimentada está diseñado para adaptarse a las condiciones específicas de tráfico, clima y terreno de la zona. Desde las simples carreteras de tierra hasta las más complejas de macadán, estas vías ofrecen soluciones prácticas y económicas para conectar zonas rurales, proyectos temporales y áreas de difícil acceso. La elección del tipo de carretera depende de factores como el presupuesto, la frecuencia de mantenimiento requerido y las características del suelo local.

2.2.3.3 Clasificación de acuerdo a la demanda

Se clasifican de acuerdo con el Índice Medio Diario Anual (IMDA), que mide el volumen promedio de vehículos que transitan por una carretera diariamente a lo largo de un año. Esta clasificación es fundamental para determinar el diseño, mantenimiento y las inversiones necesarias en la infraestructura vial. Aquí se presentan las categorías principales basadas en el IMDA:

a) Carreteras de muy bajo tráfico (IMDA < 50 vehículos/día)

Estas carreteras son utilizadas por menos de 50 vehículos diarios, generalmente ubicadas en áreas muy remotas o rurales. Sirven como accesos a propiedades rurales y caminos forestales. Debido a su bajo uso, requieren mantenimiento ocasional, principalmente reactivo después de eventos climáticos severos como lluvias intensas.

b) Carreteras de bajo tráfico (IMDA 50-200 vehículos/día)

Con un tráfico moderadamente bajo, estas vías conectan pequeñas comunidades o granjas. Aunque el volumen de vehículos es mayor que en las carreteras de muy bajo tráfico, el mantenimiento sigue siendo relativamente sencillo, enfocado en la nivelación y el control del polvo para mantenerlas transitables.

c) Carreteras de tráfico moderado (IMDA 200-1,000 vehículos/día)

Estas carreteras manejan un volumen de tráfico moderado y son cruciales para conectar pueblos y áreas agrícolas e industriales. Debido al incremento en el uso, requieren un mantenimiento más frecuente, que incluye mejoras en la superficie y en el drenaje para manejar el desgaste causado por el tráfico constante y las condiciones climáticas.

d) Carreteras de alto tráfico (IMDA 1,000-5,000 vehículos/día)

Con un tráfico significativo, estas vías actúan como accesos principales a ciudades pequeñas o rutas comerciales. El alto volumen de vehículos demanda un mantenimiento intensivo y mejoras constantes en la infraestructura para garantizar la seguridad de la carretera.

**e) Carreteras de muy alto tráfico (IMDA > 5,000 vehículos/día)**

Estas carreteras soportan un tráfico muy alto, típicamente sirviendo como arterias principales de comunicación entre ciudades o dentro de áreas metropolitanas. Debido a su importancia y el volumen de tráfico, requieren un mantenimiento y supervisión continuos, además de inversiones significativas en mejoras y rehabilitaciones para prevenir el deterioro y asegurar un flujo vehicular eficiente.

Consideraciones adicionales.

- **Condiciones climáticas:** Las carreteras en regiones con condiciones climáticas adversas pueden necesitar más mantenimiento independientemente del IMDA, debido a factores como la erosión por lluvias o el daño por congelación y deshielo.
- **Tipo de vehículos:** Las carreteras utilizadas por vehículos pesados, como camiones de carga, requieren una mayor resistencia estructural y, por ende, un mantenimiento más frecuente.
- **Finalidad de la carretera:** El propósito de la carretera también influye en su diseño y mantenimiento, especialmente si es una vía crítica para el transporte de bienes o acceso a servicios esenciales.

Por ejemplo, una carretera rural con un IMDA de 150 vehículos diarios se clasificaría como de bajo tráfico. Esta carretera necesitaría mantenimiento regular como nivelación y control de polvo para asegurar que se mantenga funcional y segura para los usuarios.

Conclusión: La clasificación de las carreteras no pavimentadas según la demanda es esencial para asegurar que reciban el nivel adecuado de mantenimiento y recursos necesarios para su operación eficiente y segura. Considerar factores como el volumen de tráfico, el tipo de vehículos, las condiciones climáticas y el propósito de la carretera ayuda a planificar y priorizar las necesidades de infraestructura de manera efectiva.



2.2.3.4 Métodos para evaluar el estado de una carretera no pavimentada

La evaluación del estado de carreteras es crucial para determinar su mantenimiento y para planificar intervenciones que mejoren la seguridad y eficiencia del tránsito. Los métodos empleados para evaluar este tipo de carreteras consideran aspectos como la geometría, las condiciones de la superficie y el drenaje. (Urbano & Vargas, 2019).

1. Inspección visual.

- Este método consiste en realizar una inspección visual directa de la carretera para identificar daños y deterioros, como erosión, baches, surcos, abultamientos o pérdida de material.
- Se suelen utilizar hojas de evaluación o listas de verificación para documentar las condiciones.
- Aunque es un método subjetivo y puede depender de la experiencia del evaluador, es económico y permite una evaluación rápida.

2. Índice de condición de la carretera (RCI).

- El Road Condition Index es un método que clasifica el estado de la carretera en una escala, considerando factores como baches, estabilidad de la superficie y drenaje.
- Se realiza una ponderación de los defectos identificados, asignando una puntuación que permite evaluar la necesidad de mantenimiento.
- Este índice puede ser adaptado a las condiciones locales y es útil para priorizar intervenciones.

3. Deflectometría de impacto ligero (LWD).

- Este método consiste en utilizar un deflectómetro portátil para medir la deflexión de la superficie bajo una carga aplicada.
- Las lecturas obtenidas reflejan la capacidad de soporte de la carretera y permiten inferir la calidad de la compactación.



- La LWD es particularmente útil para evaluar la resistencia de la subrasante y para carreteras con alto tráfico o en zonas de climas variables.

4. Pruebas de densidad y humedad en campo.

- Estas pruebas se realizan para evaluar la compactación y la humedad del suelo en diferentes puntos de la carretera.
- Utilizan métodos como el ensayo de cono de arena o el ensayo nuclear, que permiten determinar la densidad del suelo, un indicador importante de la resistencia y la durabilidad de la superficie no pavimentada.
- El control de la humedad es esencial, ya que afecta la resistencia al tránsito y la probabilidad de formación de baches y polvo.

5. Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

- Este índice se utiliza para evaluar la rugosidad de la carretera mediante sensores instalados en un vehículo que registra la irregularidad de la superficie.
- Aunque el IRI es más común en carreteras pavimentadas, su aplicación en carreteras no pavimentadas puede proporcionar información sobre la comodidad de la conducción y la seguridad.
- Requiere de equipo especializado, pero es un indicador confiable de la necesidad de mantenimiento y puede integrarse a un sistema de gestión de carreteras. (Urbano & Vargas, 2019).

6. Drones y tecnología LiDAR.

- Los drones equipados con cámaras de alta resolución o con tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging) permiten capturar imágenes aéreas y crear modelos 3D de la carretera.
- Esta tecnología permite realizar un mapeo detallado de la topografía y detectar zonas de acumulación de agua o erosión.
- Aunque el costo es elevado, proporciona información detallada y puede cubrir grandes áreas de terreno en poco tiempo.



7. Evaluación del sistema de drenaje.

- Un sistema de drenaje adecuado es esencial para carreteras no pavimentadas, ya que reduce la erosión y el riesgo de baches.
- La evaluación implica inspeccionar las cunetas, canales, alcantarillas y drenajes naturales para verificar su funcionalidad y capacidad.
- También se pueden realizar pruebas de infiltración en las áreas adyacentes para estimar el riesgo de acumulación de agua en la carretera.

8. Pruebas de resistencia con el penetrómetro dinámico ligero (DCP).

- El DCP es una herramienta que permite evaluar la resistencia de la subrasante y las capas de material bajo la superficie.
- Consiste en una barra metálica con una punta cónica que se introduce en el suelo mediante golpes, registrando la resistencia a la penetración.
- Es portátil y relativamente económico, siendo muy utilizado para estimar la durabilidad de carreteras no pavimentadas.

9. Modelos basados en sensores vehiculares.

- Algunos vehículos están equipados con sensores y dispositivos GPS que registran datos de aceleración y vibración mientras se circula por la carretera.
- Esta información se utiliza para construir modelos predictivos de deterioro y rugosidad, evaluando la estabilidad de la superficie en tiempo real.
- Este método puede integrarse a sistemas de flotas de vehículos de carga o transporte público, obteniendo datos continuos para el monitoreo de las condiciones.

Cada método presenta ventajas y limitaciones, por lo que en muchas ocasiones se utiliza una combinación de varios para lograr una evaluación integral y precisa.

2.2.4 Cenizas inorgánicas

Las cenizas inorgánicas son el residuo sólido que queda después de la combustión completa de materiales orgánicos y de ciertos procesos industriales. Estas cenizas están compuestas principalmente por minerales y elementos inorgánicos que no se volatilizan durante la combustión. Las fuentes comunes de cenizas inorgánicas incluyen la quema de carbón, biomasa, residuos sólidos urbanos y ciertos desechos industriales. Las cenizas inorgánicas tienen una amplia variedad de aplicaciones industriales y agrícolas debido a sus propiedades. (Vilca, 2023).

La composición de las cenizas inorgánicas varía según su fuente. Por ejemplo, las cenizas de carbón suelen contener óxidos de metales pesados y otros minerales, mientras que las cenizas de biomasa presentan mayores proporciones de compuestos de calcio, potasio y fósforo. Las cenizas inorgánicas de residuos urbanos pueden ser más heterogéneas, incluyendo una variedad de materiales y posibles contaminantes. Estas propiedades químicas y físicas únicas hacen que las cenizas inorgánicas sean útiles en diversas aplicaciones industriales y agrícolas, como la fabricación de cemento, la estabilización de suelos y la enmienda de tierras agrícolas.

Figura 2

Cenizas inorgánicas



Nota: Cenizas inorgánicas, tomado de Beonloop.

En términos de propiedades físicas, las cenizas inorgánicas son generalmente finas y pulverulentas, aunque pueden contener fragmentos más grandes. Son típicamente alcalinas debido a la presencia de óxidos metálicos, como el óxido de calcio, lo que puede ser beneficioso en aplicaciones como la neutralización de suelos ácidos y la mejora de la estructura del suelo.

a) Composición y origen.

La composición de las cenizas inorgánicas puede variar significativamente dependiendo de su origen. En general, las cenizas de carbón contienen una mezcla de óxidos metálicos, silicatos, aluminatos y sulfatos, así como trazas de elementos como arsénico, cadmio, cromo y mercurio. Las cenizas de biomasa, por otro lado, suelen contener una mayor proporción de compuestos de calcio, potasio y fósforo, reflejando la composición de los materiales vegetales originales. Las cenizas inorgánicas de residuos urbanos pueden incluir una mezcla más heterogénea de materiales, incluidos metales pesados y otros contaminantes. (Vilca, 2023).

b) Propiedades físicas y químicas

Las propiedades de las cenizas inorgánicas incluyen una densidad variable, tamaño de partícula y porosidad, que pueden influir en su uso en diferentes aplicaciones. Las cenizas suelen ser finas y pulverulentas, aunque también pueden contener fragmentos más grandes. En términos químicos, las cenizas inorgánicas son generalmente alcalinas debido a la presencia de óxidos metálicos como el óxido de calcio (cal). Esta alcalinidad puede ser beneficiosa en algunas aplicaciones, como la estabilización de suelos y la neutralización de ácidos.

2.2.4.1 Propiedades de las cenizas inorgánicas

○ **Cenizas de carbón.**

Son el subproducto de la combustión del carbón y contienen una mezcla de minerales inorgánicos. Se ha comprobado que su adición a suelos arcillosos mejora

significativamente su capacidad portante, medida a través del índice CBR. (Márquez, 2014). Estudios han mostrado que:

- La adición de un 20% a 25% de cenizas de carbón puede incrementar el CBR en un 6.45% a 17.20% respecto al suelo natural¹.

○ **Cenizas volantes.**

Las cenizas volantes son un subproducto de las centrales eléctricas que queman carbón, también se utilizan para estabilizar suelos. Estas cenizas tienen propiedades puzolánicas que ayudan a mejorar la cohesión y resistencia del suelo:

- Se ha observado que al añadir cenizas volantes en proporciones adecuadas (10% a 22%), se pueden lograr incrementos significativos en el CBR, mejorando así las características mecánicas del suelo⁴.

○ **Cenizas de bagazo y otros residuos.**

Además de las cenizas de carbón y volantes, otros residuos como las cenizas de bagazo de caña de azúcar han sido investigados por su potencial estabilizador. Estas cenizas no solo mejoran las propiedades físicas del suelo, sino que también son una opción más ecológica en comparación con aditivos químicos tradicionales como cal o cemento:

- Los estudios demostraron que la mezcla de ceniza de bagazo con cal puede resultar en mejoras adicionales en las propiedades mecánicas del suelo².

2.2.4.2 Características de las cenizas inorgánicas

Las cenizas inorgánicas son el residuo sólido resultante de la combustión completa de materiales orgánicos y ciertos procesos industriales. Estas cenizas tienen una variedad de características que determinan su utilidad y aplicaciones en diferentes campos. (Aguilar, 2023).



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.

- Granulometría:

La granulometría de las cenizas inorgánicas se refiere al tamaño y distribución de las partículas que las componen. Generalmente, las cenizas son finas y pulverulentas, con partículas que varían desde micrómetros hasta milímetros. Esta característica permite su uso en aplicaciones que requieren materiales finamente divididos, como el relleno de espacios y la mejora de suelos.

- Densidad y peso específico:

La densidad de las cenizas inorgánicas puede variar dependiendo de su origen y composición. Suelen tener una densidad aparente baja debido a su naturaleza pulverulenta, pero cuando se compactan, su densidad puede aumentar significativamente, lo que es importante para aplicaciones en la construcción y estabilización de suelos.

- Porosidad:

Las cenizas inorgánicas presentan una alta porosidad, lo que significa que tienen una gran cantidad de espacio vacío entre sus partículas. Esta característica las hace útiles como materiales absorbentes en aplicaciones como el tratamiento de aguas residuales y la mejora de la capacidad de retención de agua en suelos.

- Superficie específica:

Debido a su naturaleza finamente dividida, las cenizas inorgánicas tienen una alta superficie específica. Esto es beneficioso en aplicaciones que requieren una alta capacidad de adsorción, como en la remediación de suelos contaminados y el tratamiento de efluentes industriales.

- Color:

El color de las cenizas inorgánicas puede variar dependiendo de su origen y los materiales combustibles. Por ejemplo, las cenizas de carbón suelen ser grises o negras, mientras que las cenizas de biomasa pueden ser más claras, como blancas o beige.



CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.

- Composición química:

Las cenizas inorgánicas están compuestas principalmente por óxidos metálicos, silicatos, aluminatos y sulfatos. Los componentes comunes incluyen óxido de calcio (CaO), óxido de silicio (SiO₂), óxido de aluminio (Al₂O₃) y óxido de hierro (Fe₂O₃). La composición exacta puede variar significativamente según la fuente de las cenizas, lo que afecta su idoneidad para diferentes aplicaciones.

- Alcalinidad:

Debido a la presencia de óxido de calcio y otros óxidos metálicos, las cenizas inorgánicas son generalmente alcalinas. Esta alcalinidad es útil en aplicaciones de neutralización de suelos ácidos y estabilización de materiales en la construcción.

- Contenido de nutrientes:

Las cenizas inorgánicas, especialmente las provenientes de biomasa, pueden contener nutrientes esenciales como potasio (K), fósforo (P) y calcio (Ca). Estas características las hacen valiosas como enmiendas del suelo en la agricultura, mejorando la fertilidad del suelo y proporcionando micronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. (Aguilar, 2023).

- Reactividad química:

Las cenizas inorgánicas pueden reaccionar con agua y otros compuestos presentes en su entorno. Esta reactividad permite su uso en la estabilización de suelos y en la formación de compuestos estables que mejoran las propiedades mecánicas de los materiales con los que se mezclan.

- Contenido de metales pesados:

Dependiendo de su origen, las cenizas inorgánicas pueden contener trazas de metales pesados como arsénico, cadmio, cromo y mercurio. La presencia de estos metales puede limitar algunas aplicaciones y requiere una gestión cuidadosa para evitar la contaminación ambiental.



2.2.4.3 Aplicación de las cenizas inorgánicas

✓ **Construcción y materiales de construcción:**

Una de las aplicaciones más importantes de las cenizas inorgánicas es en la industria de la construcción. Las cenizas, un subproducto de la combustión del carbón en las centrales eléctricas, se utilizan como ingrediente en la producción de cemento y hormigón. Mejora las cualidades mecánicas del hormigón, aumentando su resistencia. También se utilizan en la fabricación de ladrillos y bloques de construcción, donde actúan como un agente ligante y de relleno.

✓ **Estabilización de suelos:**

La estabilización del suelo, una técnica que mejora las propiedades físicas del suelo para la construcción de carreteras y otros proyectos de infraestructura, hace un uso extensivo de cenizas inorgánicas. Las cenizas pueden aumentar la resistencia del suelo a la erosión, disminuir su flexibilidad y aumentar su capacidad de carga. Esto es particularmente útil en suelos arcillosos y otros tipos de suelos problemáticos.

✓ **Agricultura y enmiendas de suelo:**

En la agricultura, las cenizas de biomasa se utilizan como enmienda del suelo debido a su contenido de nutrientes esenciales como potasio, fósforo y calcio. Estas cenizas pueden mejorar la fertilidad del suelo, aumentar el pH de suelos ácidos y proporcionar micronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, es importante controlar la cantidad y tipo de cenizas aplicadas para evitar la acumulación de metales pesados.

✓ **Tratamiento de aguas residuales:**

Las cenizas inorgánicas también se utilizan en el tratamiento de aguas residuales y efluentes industriales. Pueden actuar como coagulantes y adsorbentes, ayudando a eliminar contaminantes como metales pesados y materia orgánica. Esta aplicación es especialmente relevante en la remediación de aguas contaminadas y en la gestión de desechos industriales.



En resumen, las cenizas inorgánicas son un subproducto versátil con una amplia gama de aplicaciones industriales y agrícolas. Su composición y propiedades únicas les permiten mejorar materiales de construcción, estabilizar suelos y enriquecer tierras agrícolas. Sin embargo, su uso debe gestionarse con cuidado para evitar impactos ambientales negativos y proteger la salud pública.

2.2.4.4 Estabilización de suelos con cenizas inorgánicas

El proceso de estabilización del suelo mediante cenizas inorgánicas aprovecha estos residuos para mejorar las características mecánicas y físicas de los suelos, aumentando su idoneidad para la construcción de infraestructuras, como plataformas, autopistas y cimientos. Las cenizas inorgánicas, que pueden provenir de la combustión de carbón, biomasa y otros procesos industriales, contienen una mezcla de minerales y óxidos metálicos que pueden interactuar con los suelos y mejorar su rendimiento. (Curasma, 2021).

a) Proceso de estabilización de suelos con cenizas inorgánicas.

Selección del material:

El primer paso en la estabilización de suelos con cenizas inorgánicas es seleccionar el tipo adecuado de ceniza. Las cenizas volantes de carbón y las cenizas de biomasa son las más comúnmente utilizadas debido a su disponibilidad y propiedades químicas favorables. Se debe realizar un análisis detallado de la composición química de las cenizas para asegurarse de que no contengan niveles excesivos de contaminantes, como metales pesados, que podrían ser perjudiciales para el medio ambiente.

Mezcla y proporciones:

La ceniza seleccionada se mezcla con el suelo que se desea estabilizar. Las proporciones de ceniza y suelo pueden variar dependiendo del suelo y los objetivos del proyecto, pero típicamente se agregan entre un 10% y un 30% de ceniza en



peso. La mezcla debe ser homogénea para asegurar una distribución uniforme de la ceniza en todo el suelo.

Adición de agua:

El proceso de mezcla generalmente incluye la adición de agua para facilitar la reacción química entre las cenizas y el suelo. Esta hidratación es crucial para activar los componentes cementantes de las cenizas, como el óxido de calcio, que reaccionan con el agua y el dióxido de carbono del ambiente para formar compuestos estabilizadores como el hidróxido de calcio.

Compactación:

Tras un proceso completo de mezcla y humectación, la ceniza y el suelo se compactan utilizando las herramientas de compactación adecuadas, como placas vibratorias o rodillos. La compactación es necesaria para mejorar la capacidad de carga, la densidad y la porosidad del suelo. La compactación debe ser uniforme y alcanzar la densidad deseada para garantizar la eficacia de la estabilización.

Cura y estabilización:

Tras la compactación, el suelo estabilizado se deja curar durante un período que puede variar de varios días a semanas, dependiendo de las circunstancias climáticas y del tipo específico de ceniza utilizado. En la mayoría de los casos, la compactación se lleva a cabo mediante un proceso químico, en el que las propiedades estabilizadoras del suelo se ven reforzadas por el aumento de la resistencia y la disminución de la flexibilidad.

b) Beneficios de la estabilización de suelos con cenizas inorgánicas.

Mejora de la capacidad de carga:

La adición de cenizas inorgánicas aumenta la capacidad del suelo, haciéndolo más adecuado para soportar estructuras pesadas y tráfico vehicular. Esto es especialmente útil en suelos blandos o arcillosos que tienen una baja capacidad de carga natural.

Reducción de la plasticidad:

Las cenizas inorgánicas pueden reducir la plasticidad del suelo, lo que significa que el suelo será menos susceptible a cambios de volumen debido a variaciones de humedad. Esto ayuda a prevenir problemas como la hinchazón y la contracción, que pueden causar daños a las infraestructuras construidas sobre el suelo.

Mejora de la resistencia a la erosión:

La estabilización con cenizas inorgánicas puede aumentar la resistencia del suelo a la erosión causada por el agua y el viento. Esto es especialmente beneficioso en áreas propensas a la erosión, donde la estabilidad del suelo es crucial para la integridad de las estructuras. (Curasma, 2021).

Uso de residuos industriales:

El uso de cenizas inorgánicas para la estabilización de suelos es una forma efectiva de reciclar residuos industriales que de otro modo podrían ser desechados en vertederos. Esto contribuye a la sostenibilidad ambiental y reduce la necesidad de materiales vírgenes.

2.2.4.5 Estabilización de suelos con cenizas inorgánicas

El uso de cenizas inorgánicas en diversas aplicaciones de la ingeniería civil y ambiental tiene numerosos beneficios que abarcan aspectos económicos, técnicos y ambientales. Estos beneficios han hecho que las cenizas inorgánicas sean materiales atractivos para proyectos de construcción, estabilización de suelos y remediación ambiental. A continuación, se describen los principales beneficios:

1. Mejora de las propiedades del suelo y del concreto.

- Estabilización de Suelos: Las cenizas inorgánicas, especialmente las cenizas volantes, mejoran significativamente la resistencia, cohesión y capacidad de carga de suelos cuando se mezclan adecuadamente, resultando en una base más estable y duradera.



- **Reducción de la Plasticidad:** En suelos arcillosos, las cenizas ayudan a reducir la plasticidad y la expansión, lo que disminuye el riesgo de agrietamiento y deformación en estructuras de carreteras y cimientos.
- **Aumento de la Durabilidad del Concreto:** Al actuar como un material pozzolánico, las cenizas inorgánicas aumentan la durabilidad del concreto al disminuir la permeabilidad y aumentar la resistencia a los agentes químicos agresivos.

2. Reducción de costos en proyectos de construcción.

- **Material Aditivo Económico:** Al ser un subproducto industrial, las cenizas inorgánicas suelen ser más económicas que otros materiales estabilizadores, como el cemento y la cal, lo que ayuda a reducir los costos y estabilización de suelos.
- **Ahorro en Costos de Transporte y Manejo de Residuos:** El uso de cenizas inorgánicas provenientes de industrias locales reduce los costos asociados con la disposición de residuos y disminuye la necesidad de extraer materiales naturales.
- **Optimización de Materiales Cementantes:** Las cenizas inorgánicas permiten una reducción en la cantidad de cemento utilizado en el concreto, lo que representa un ahorro considerable en proyectos a gran escala.

3. Beneficios ambientales.

- **Reciclaje de Residuos Industriales:** El uso de cenizas inorgánicas permite aprovechar residuos de procesos de combustión, como las cenizas volantes y de biomasa, evitando que se acumulen en vertederos y reduciendo la huella ambiental de las industrias que las generan.
- **Reducción de Emisiones de CO₂:** La sustitución parcial del cemento por cenizas en la fabricación de concreto disminuye la cantidad de cemento

necesaria, lo que a su vez reduce las emisiones de CO₂, ya que la producción de cemento es un proceso altamente emisor de carbono.

- Menor Extracción de Recursos Naturales: Al emplear cenizas como sustituto de materiales naturales en suelos y concreto, se reduce la demanda de recursos como arcillas, arenas y otros agregados, contribuyendo a la conservación de estos recursos.

4. Mejor desempeño en condiciones adversas.

- Mayor Resistencia a la Humedad y Ciclos de Hielo-Deshielo: Las cenizas inorgánicas en mezclas de suelos y concreto ofrecen mejor desempeño en condiciones de alta humedad y temperaturas extremas, reduciendo el deterioro asociado con los ciclos de hielo-deshielo.
- Resistencia a los Agentes Químicos: Las propiedades pozzolánicas de las cenizas inorgánicas mejoran la resistencia del concreto a la acción de agentes agresivos como sulfatos y cloruros, siendo especialmente útiles en ambientes costeros o zonas con presencia de sales.

5. Propiedades de aislamiento térmico y acústico.

- Aislante Térmico: Las cenizas inorgánicas tienen una baja conductividad térmica, lo cual es beneficioso en la fabricación de bloques y paneles de construcción con propiedades de aislamiento, ayudando a mantener temperaturas interiores estables.
- Reducción de la Transmisión Acústica: En aplicaciones específicas, como la construcción de muros, las cenizas pueden contribuir a mejorar el aislamiento acústico, lo que incrementa el confort en viviendas y oficinas en áreas urbanas.

6. Aplicación en la remediación de suelos y aguas.

- Adsorción de Contaminantes: Las cenizas inorgánicas poseen una capacidad de adsorción que las hace útiles para la remediación de suelos y aguas contaminadas, al retener metales pesados y ciertos compuestos orgánicos.



- Neutralización de Ácidos en Suelos y Aguas Residuales: La presencia de óxidos de calcio y magnesio en algunas cenizas permite neutralizar la acidez en suelos y aguas contaminadas, lo que ayuda a restaurar el equilibrio del pH en ambientes degradados.

7. Facilidad de manipulación y aplicación.

- Versatilidad en Aplicaciones y Compatibilidad con Otros Materiales: Las cenizas inorgánicas son compatibles con otros materiales cementantes y pueden combinarse fácilmente con cal o cemento, adaptándose a diferentes proyectos de construcción y estabilización de suelos.
- Facilidad de Transporte y Manejo: Las cenizas inorgánicas son ligeras y pueden distribuirse fácilmente en el sitio de aplicación, lo cual facilita su mezcla y compactación con el suelo o su incorporación en concreto.

8. Contribución a la sostenibilidad y la economía circular.

- El uso de cenizas inorgánicas se alinea con los principios de sostenibilidad y economía circular al reincorporar materiales residuales en el ciclo productivo y reducir la necesidad de recursos vírgenes.
- Este enfoque sostenible ayuda a las empresas e industrias a cumplir con normativas ambientales, al tiempo que generan productos y proyectos más amigables con el medio ambiente.

9. Resumen de los Principales Beneficios.

- Mejora de la resistencia, durabilidad de suelos y concreto.
- Reducción de costos en materiales y disposición de residuos.
- Impacto ambiental reducido al reciclar residuos industriales.
- Mayor resistencia a agentes climáticos y químicos.
- Aplicación en remediación de suelos y aguas contaminadas.
- Contribución a una economía circular en el sector de la construcción.



Estos beneficios convierten a las cenizas inorgánicas en una alternativa valiosa para su uso en proyectos, proporcionando soluciones sostenibles y efectivas para mejorar el rendimiento y reducir el impacto ambiental en la construcción y estabilización de suelos.

2.3 Marco conceptual

2.3.1. Afirmado

El afirmado de una carretera es un proceso constructivo que consiste en preparar y estabilizar una superficie de rodadura utilizando materiales naturales compactados, como gravas, arenas y suelos estabilizados. Este método no incluye la aplicación de asfalto o concreto, sino que se enfoca en la compactación de capas sucesivas de estos materiales para crear una base sólida y duradera que soporte el tráfico vehicular.

2.3.2. CBR

Es un ensayo estándar que mide la capacidad de soporte de un suelo o material granular bajo condiciones controladas, proporcionando un índice comparativo de resistencia. Esta prueba, creada inicialmente por el Departamento de Transporte de California, consiste en compactar una muestra de suelo en un molde cilíndrico y aplicar posteriormente una carga mediante un pistón. Se cuantifica la fuerza necesaria para perforar el pistón hasta las profundidades designadas y se contrasta con la fuerza necesaria para penetrar un material estándar, a menudo una base de grava triturada. El resultado se muestra como un porcentaje, con valores elevados que significan una mayor capacidad de carga.

2.3.3. Carretera

Una carretera es una infraestructura vial diseñada y construida para facilitar el transporte terrestre de vehículos, personas y bienes entre diferentes lugares. Se compone



de una superficie pavimentada o afirmada que proporciona una ruta segura y eficiente para el tránsito, y puede incluir múltiples carriles, intersecciones, puentes, túneles y sistemas de señalización. Las carreteras están diseñadas para soportar diversos tipos de tráfico y condiciones climáticas, y suelen incorporar sistemas de drenaje y medidas de seguridad, como barandillas y señalización, para garantizar la seguridad de los usuarios.

2.3.4. Cenizas inorgánicas

Las cenizas inorgánicas son el residuo sólido no combustible que queda tras la combustión completa de materiales orgánicos y diversos procesos industriales. Compuestas principalmente por minerales y elementos inorgánicos como óxidos metálicos, silicatos, aluminatos y sulfatos, estas cenizas pueden provenir de la quema de carbón, biomasa, residuos sólidos urbanos y ciertos desechos industriales. Su composición varía según la fuente, influenciada por la naturaleza del material original y las condiciones de combustión.

2.3.5. IMDA

El IMDA es un indicador utilizado en el campo del transporte de tráfico para representar el promedio diario de vehículos que transitan por una carretera o segmento vial durante un año completo. Este índice se calcula sumando el total de vehículos registrados en un punto específico de la carretera a lo largo de un año y dividiendo esta cifra por 365 días. El IMDA es una medida clave para evaluar la demanda de tráfico, planificar el mantenimiento y la expansión de infraestructuras viales, y diseñar estrategias de gestión del tráfico.

2.3.6. Subrasante

La subrasante es la capa de suelo natural o mejorado situada directamente debajo de la estructura del pavimento de una carretera, que sirve de base esencial para las capas superiores del pavimento. El objetivo principal es ofrecer una superficie resistente y



homogénea que soporte las cargas del pavimento y distribuya eficazmente estas tensiones al suelo subyacente. La calidad de la subrasante es crucial para la durabilidad y el desempeño del pavimento, ya que una subrasante bien preparada ayuda a prevenir asentamientos y deformaciones que podrían dañar la estructura vial.

2.3.7. Suelos

Los suelos constituyen la capa superior y están formados por una mezcla de minerales, agua, aire y seres vivos. Se desarrollan a lo largo de milenios mediante la desintegración de rocas y la acumulación de materia orgánica, sirviendo de medio crucial para el desarrollo de las plantas, que posteriormente sustentan la mayoría de las formas de vida terrestre. Los suelos desempeñan múltiples funciones, incluyendo la regulación del flujo de agua, la filtración y el almacenamiento de nutrientes, y el soporte de la biodiversidad.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño de la investigación

Según Creswell (2014), cualquier estudio académico debe contar con un diseño de investigación, ya que este establece el marco y la metodología para recopilar y analizar datos.

Este diseño de estudio es **experimental**, ya que implica la manipulación de una o más variables por parte del investigador. Además, se intenta identificar cualquier conexión o factor causal asociado a los fenómenos. Se recogerán muestras de suelo de la región de la investigación, que han sido tratadas con cenizas inorgánicas y analizadas para determinar el CBR.

3.2 Método de la investigación

Según Creswell (2014), El método utilizado para recopilar, examinar y evaluar los datos con el fin de responder a las preguntas de la investigación y comprobar las hipótesis se conoce como técnica de investigación. Este componente es esencial porque garantiza la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos.



El estudio realizado emplea un método **científico**, utilizando cálculos estadísticos para analizar muestras representativas. Al calcular promedios a partir de una base de datos, este método cuantifica datos de fuentes primarias y crea correlaciones numéricas.

3.3 Nivel y tipo de la investigación

3.3.1 Nivel de la investigación

Se refiere a la profundidad y alcance del estudio realizado, determinando la complejidad de la información recopilada y el grado de generalización de los resultados. Según (Kumar, 2019). El nivel explicativo tiene como objetivo discernir las causas y los efectos de los acontecimientos, ofreciendo una comprensión profunda de las relaciones causales.

El nivel empleado para este estudio es **explicativo**, ya que aborda las causas de la situación y explica el problema. Describe los fenómenos y proporciona una explicación de cómo se comportan las variables de la investigación. Esto permitirá comprobar cómo la estabilización con ceniza inorgánica (cascaras de cebada) mejora las propiedades del suelo.

3.3.2 Tipo de la investigación

Se refiere al enfoque general y al método que se adopta para llevar a cabo un estudio. La investigación aplicada busca resolver problemas prácticos y tiene una orientación más utilitaria. Hernández et al., (2014) Este tipo de investigación se enfoca en la aplicación de teorías y conocimientos para desarrollar soluciones concretas a problemas específicos.

El presente estudio es un tipo **aplicado**, ya que su propósito es recopilar nuevos datos y evaluar los cambios del proceso antes y después del uso de ceniza inorgánica (cascaras de cebada). En pocas palabras, el objetivo es crear nuevos conocimientos y aplicarlos a problemas del mundo real.

3.4 Población y muestra de la investigación

3.4.1 Población

Es el grupo de personas, cosas u ocasiones que comparten rasgos y son de interés para el investigador se denomina población de estudio. Según (Hernandez & Baptista, 2014), la población es el grupo sobre el cual se desean generalizar los resultados del estudio.

La población para el presente estudio se tomó la carretera Juliaca – Escallani con subrasante inestables en la región Puno.

3.4.2 Muestra

Un subconjunto de la población general elegido para participar en un estudio se conoce como muestra de investigación. Para que los resultados del estudio sean ampliamente aplicables, la muestra debe ser representativa de la población. Según (Hernandez & Baptista, 2014), la selección de una muestra adecuada es crucial para la validez interna y externa del estudio.

Para el presente estudio tendremos como muestra el afirmado de la carretera Juliaca – Escallani, con aplicación de ceniza inorgánica (cascaras de cebada) en cantidades variables.

Tabla 2

Numero de muestra para los ensayos

Descripción	Índice de Plasticidad	Grado Compactación	CBR	Total
SN	3	3	3	9
Con la adición				
SN + 5.5% CI	3	3	3	9
SN + 7.0% CI	3	3	3	9
SN + 8.5% CI	3	3	3	9
Total				36

Nota: SN (Suelo natural), CI (Ceniza Inorgánica).



3.5 Técnicas e instrumentos

3.5.1 Técnicas

Las técnicas son fundamentales en cualquier estudio académico, ya que proporcionan las herramientas y métodos necesarios para recolectar e interpretar datos de manera sistemática. La selección adecuada de estas técnicas es crucial para asegurar la validez de los resultados logrados. Hernández et al. (2014).

Las circunstancias óptimas para la investigación se averiguaron con el uso de la exploración directa. A la vez se registraron mediante el procedimiento experimental:

- **Exploración de campo:** Se realizaron los trabajos de excavación (calicatas) en la carretera Juliaca – Escallani. Los datos recogidos en el campo se utilizarán para realizar estudios cruciales sobre la clasificación de suelos, siguiendo la norma AASTHO.
- **Observación directa:** Se utilizará una cámara para captar un registro fotográfico de las operaciones, que luego se grabará en una memoria USB y se respaldará en ordenadores portátiles y/o PC.

3.5.2 Instrumentos de recolección de datos investigación

Son herramientas principales utilizadas para la recolección de datos en un estudio. La selección adecuada de estos instrumentos es crucial para asegurar la validez de los datos obtenidos, lo cual a su vez influye en la calidad y exactitud de los resultados. Hernández et al. (2014).

Los instrumentos que se utilizaron para el desarrollo de la presente investigación son:

- Fichas de recolección de datos en el campo.
- Formatos de laboratorio
- Certificados de control de calidad

- Softwares

3.6 Plan de recolección y procesamiento de datos

3.6.1 Desarrollo del plan de investigación

Para certificar el éxito de este estudio, se han implementado una serie de acciones de acuerdo con los requisitos previamente especificados. A continuación, se detalla cada una de las fases desarrolladas:

✚ **Fase I: Recolección y análisis de información.** Esta fase inicial se centra en la recopilación de datos relevantes al tema de investigación. Se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda de literatura, incluyendo fuentes bibliográficas como libros, tesis académicas, artículos científicos y normativas técnicas. Este procedimiento fue crucial para crear una base de conocimientos sólida y garantizar la validez y relevancia del estudio. Se analizaron diferentes enfoques teóricos y estudios previos para identificar vacíos de conocimiento y oportunidades de investigación.

✚ **Fase II: Evaluación de la vía y selección de materiales.** En esta fase, se realizaron estudios de campo específicos en la carretera Juliaca – Escallani. Para ello, se llevaron a cabo tres calicatas en puntos estratégicos previamente determinados. Este trabajo permitió obtener muestras representativas del terreno y los materiales, las cuales fueron sometidas a diversos análisis para determinar sus propiedades.

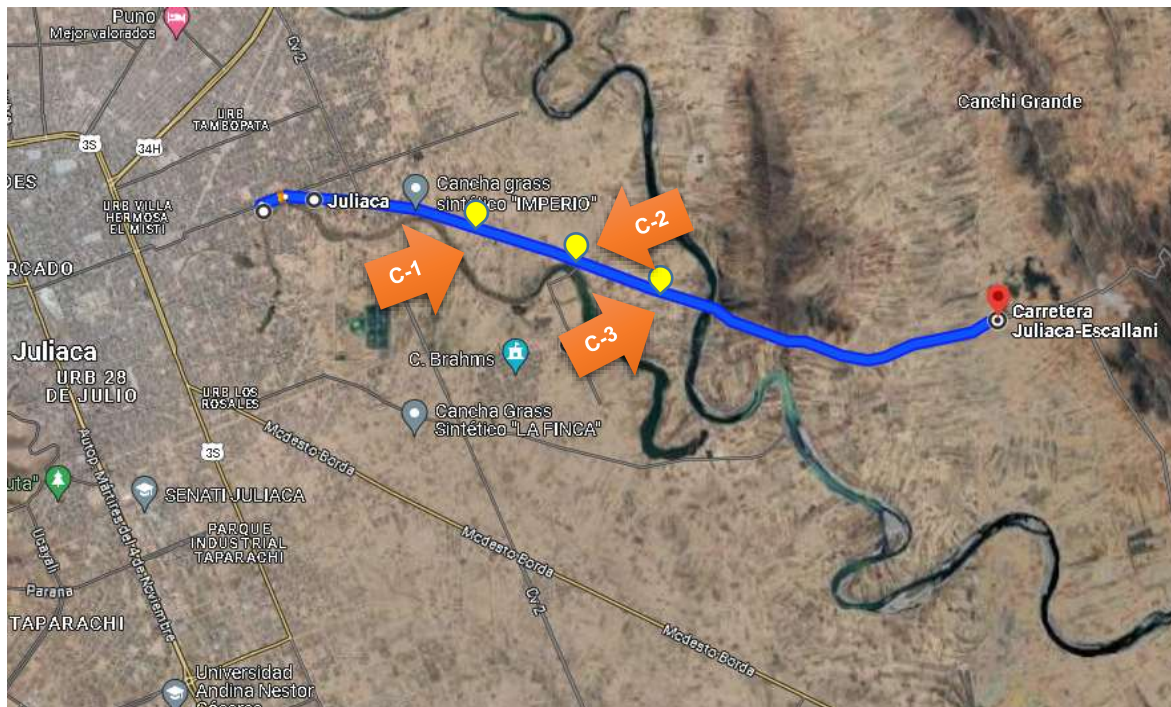
a) Ubicación de las calicatas

La selección de los lugares para realizar las calicatas se llevó conforme a lo estipulado por el MTC. De acuerdo con nuestro proyecto de estudio de carreteras, establecimos el protocolo de excavar un pozo de prueba por cada kilómetro, meticulosamente según las normas marcadas por el MTC. Cada una de estas

excavaciones alcanzó una profundidad de 1.5 metros, con la intención de llevar a cabo un análisis absoluto de las propiedades del suelo en cada ubicación.

Figura 3

Ubicación de la carretera



Nota: Carretera Juliaca – Escallani, tomado de Google Maps.

Tabla 3

Detalle de las calicatas

Calicata	Progresiva (km)	Profundidad (m)	Margen
C-1	28+505 – 29+350	1.50	Izquierdo
C-2	29+400 – 30+450	1.50	Derecho
C-3	30+500 – 31+650	1.50	Izquierdo

La tabla ilustra la ubicación de calicatas de prueba dentro de sus correspondientes etapas, de los que se extrajeron muestras de suelo de la subrasante para su posterior análisis.

b) Obtención de las cenizas inorgánicas

La obtención de la ceniza inorgánica proveniente de la cáscara de cebada se realizó en coordinación con establecimientos agrícolas ubicados en la comunidad campesina de Escallani del distrito de Capachica, donde la cebada es cultivada y procesada de forma constante, una vez identificadas las zonas de mayor actividad agrícola, se recolectó las cáscaras de cebada descartadas tras el proceso de trilla, éstas cáscaras fueron llevadas a un ambiente controlado, donde se sometió a un proceso de calcinación en horno a una temperatura aproximada de 275°C durante 1 hora, hasta obtener una ceniza fina de color gris claro, la cual fue tamizada y almacenada en recipientes herméticos para evitar el contacto con la humedad y asegurar su calidad como material estabilizante en el mejoramiento de suelos de subrasante dentro del marco de la investigación.

Figura 4

Ceniza inorgánica (cáscara de cebada)



Nota. Ceniza inorgánica (cascaras de cebada). Tomada por el investigador.

- ✚ **Fase III: Obtención de las muestras de suelo.** La cuidadosa selección de muestras representativas fue un paso fundamental en nuestro proceso de investigación. Este procedimiento tuvo como objetivo principal garantizar la conservación de la humedad natural y las propiedades intrínsecas del material



recolectado. Para lograr esto, se emplearon equipos y herramientas específicamente diseñados para reducir al mínimo cualquier alteración en las características del material durante su recolección y transporte.

Selección del sitio:

Seleccionar un sitio representativo del área de estudio, evitando zonas que hayan sido alteradas por actividades humanas recientes.

Excavación de la calicata:

- Excavar un hoyo de dimensiones adecuadas, generalmente de 1 metro de ancho por 1 metro de largo y de 1 1/2 metros de profundidad, dependiendo de la investigación y las características del suelo.
- A medida que se excava, observar y registrar los diferentes horizontes del suelo (capas) y cualquier cambio en la textura, color, estructura y contenido de humedad.

Extracción de las muestras:

- Identificar y marcar claramente los diferentes horizontes del suelo en la calicata. Los horizontes pueden variar en color, textura, estructura y contenido de materia orgánica.
- Extraer muestras de suelo de cada horizonte utilizando una paleta o cuchara de muestreo. Es importante tomar muestras del centro de cada horizonte para evitar la contaminación con material de otros horizontes.
- Colocar las muestras en bolsas de plástico o recipientes limpios y etiquetarlos inmediatamente con la información del horizonte, la profundidad de la muestra y la fecha de recolección.



- Registrar en la libreta de campo detalles sobre cada muestra, incluyendo la profundidad, las características observadas del suelo y cualquier otra información relevante.

✚ **Fase IV: Ensayos de laboratorio.** Las pruebas de laboratorio realizadas con las muestras obtenidas y sus combinaciones con cenizas inorgánicas han sido fundamentales para nuestro estudio.

1. ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO:

Una técnica para determinar la distribución del tamaño de las partículas del suelo es el análisis del tamaño de las partículas. Normalmente, este estudio se realiza en dos pasos: sedimentación para las partículas finas y tamizado para las partículas gruesas.

Procedimiento:

- Hasta que el peso de la muestra de suelo sea constante, debe secarse en un horno a una temperatura comprendida entre 105 y 110 grados centígrados.
- Tras dejar que la muestra alcance la temperatura ambiente, pésela. Este peso debe anotarse como el peso original de la muestra seca.
- Colocar los tamices en orden de tamaño decreciente de abertura (el tamiz más grande en la parte superior y el más pequeño en la parte inferior).
- El tamiz más pequeño debe colocarse debajo de una bandeja colectora.
- Verter la muestra de suelo en el tamiz superior.
- Colocar el conjunto de tamices en el agitador y tamizar la muestra durante un tiempo determinado (normalmente entre 10 y 15 minutos, dependiendo de la muestra y el equipo).



- Si no se dispone de un agitador mecánico, agitar manualmente los tamices durante el mismo tiempo asegurándose de que el suelo pase por las aberturas de los tamices.
- Después de tamizar, pesar la cantidad de suelo retenido en cada tamiz.
- Registrar los pesos de suelo retenidos en cada tamiz y el peso del suelo que pasa por el tamiz más pequeño (recogido en la bandeja inferior).
- Calcular el peso acumulado retenido en cada tamiz.
- Calcular el proporción de la muestra retenida en cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada tamiz por el peso total inicial de la muestra y multiplicando por 100.
- Calcular los porcentajes totales que pasan por cada tamiz y los que se conservan.
- Construir una curva granulométrica trazando el tamaño de las partículas versus el porcentaje acumulado que pasa.

2. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD:

Para saber cuánta agua hay en una muestra de suelo, la prueba del contenido de humedad es crucial. Las características mecánicas y de compactación del suelo dependen en gran medida de su contenido de humedad. A continuación se describen los pasos necesarios para realizar esta prueba:

Procedimiento:

- Pesar un recipiente metálico limpio y seco con tapa. Registrar este peso.
- Llene el recipiente con unos 100 gramos de la muestra de suelo. Pesa el recipiente que contiene la muestra y anota el peso.
- Retire la tapa del recipiente y coloque el conjunto en el horno a una temperatura estable de 105-110 °C durante un mínimo de 24 horas, o hasta que el peso se estabilice.



- Extraiga el recipiente del horno utilizando pinzas o guantes resistentes al calor y colóquelo en un desecador para que se equilibre a la temperatura ambiente. Si no dispone de un desecador, deje que se enfríe en un clima árido.
- Pese el conjunto y anote el peso cuando la muestra y el recipiente hayan alcanzado la temperatura ambiente.

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

3. ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA:

Las cualidades plásticas y líquidas de una muestra de suelo pueden determinarse mediante la prueba del límite de consistencia. El límite líquido (LL) y el límite plástico (PL), dos de los límites de consistencia, son esenciales para categorizar y comprender cómo se comporta el suelo en diversas circunstancias de humedad.

Procedimiento para determinar el (LL):

- Se debe utilizar un tamiz de 0,425 mm (n.º 40) para filtrar una muestra típica de suelo seco.
- Mezclar la muestra tamizada con agua destilada hasta obtener una pasta homogénea.
- Una parte de la pasta debe añadirse a la taza de Casagrande hasta que tenga 1 cm de profundidad.
- Usar la cuchilla o espátula para cortar un surco en el medio de la pasta, de unos 2 mm de ancho y 8 mm de profundidad.
- Girar la manivela de la taza de Casagrande a una velocidad constante de 2 golpes por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta se junten a lo largo de 12 mm (aproximadamente 25 golpes).
- Repetir el procedimiento variando el contenido de agua para obtener un rango de golpes entre 20 y 30.



- Para cada prueba, anote la cantidad de golpes y el contenido de agua asociado.
- Encuentre el límite líquido (LL), que es el contenido de agua que corresponde a 25 trazos en el gráfico.

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

Procedimiento para calcular el (LP):

- Utilice un tamiz de 0,425 mm (n.º 40) para filtrar una parte de la muestra de suelo seco.
- Añada agua y remueva hasta que se forme una masa plástica.
- Con la palma de la mano, amase una parte del volumen hasta formar un rollo de unos 3 mm de diámetro.
- Con el rodillo, corte el rollo hasta que tenga un diámetro de 3 mm después de colocarlo sobre la placa de vidrio.
- Siga haciendo esto hasta que el rollo se rompa en trozos de unos 3 mm de diámetro.
- Recoja los trozos y péselos. Seque en un horno a una temperatura de entre 105 °C y 110 °C hasta que el peso se mantenga constante.
- Registrar el peso del suelo seco.
- El contenido de agua en el momento en que el rollo se desmorona es el límite plástico (PL).

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

Cálculo del Índice de Plasticidad (IP):

La siguiente fórmula se utiliza para calcular el IP:

$$IP = LL - LP$$

Figura 5

Ensayo de límite de consistencia



4. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO:

La prueba de Proctor modificada evalúa, en determinadas condiciones de tensión, la relación entre la densidad seca y el contenido de humedad del suelo compactado. Este ensayo es crucial para determinar la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo para la compactación del suelo.

Procedimiento:

- Para obtener un contenido de humedad uniforme, se recoge una muestra representativa del suelo y se seca.
- Se divide en varias secciones, normalmente cinco, para comprimir las con diferentes concentraciones de humedad.
- Para conseguir diferentes niveles de humedad, se añade una determinada cantidad de agua a cada sección.

- La sujeción se coloca en un molde normalizado y se compacta en cinco estratos, utilizando 25 golpes en cada capa con un martillo de compactación de 4,54 kg (10 lb), que se deja caer desde una altura de 457 mm (18 in). La energía total de compactación ejercida supera la del ensayo Proctor normal debido al peso del martillo y a la altura de caída.
- La masa del suelo se calcula después de medir su volumen durante la compactación.
- La densidad seca del suelo se deriva del contenido de humedad, y se calcula la densidad húmeda.
- Se repite el proceso para las diferentes porciones de suelo con distintos contenidos de humedad.
- Los datos adquiridos se utilizan para construir una curva de compactación, que ilustra la correlación entre la densidad seca y el contenido de humedad.
- El vértice de la curva significa la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo para el suelo en las circunstancias de compactación especificadas del ensayo.

Figura 6

Ensayo de Proctor modificado





5. ENSAYO DE CBR:

La prueba CBR es una prueba de penetración controlada que se utiliza para evaluar la resistencia y la capacidad portante de suelos y materiales granulares. Este ensayo es ampliamente utilizado en la construcción de carreteras y pavimentos para determinar la calidad de los materiales subrasantes y subbases.

Procedimiento:

- Deshidratar la muestra de suelo en un horno a 105-110°C hasta alcanzar un peso estable.
- Enfriar la muestra a temperatura ambiente.
- Añada agua a la muestra hasta alcanzar una humedad adecuada.
- Engrasar ligeramente el interior del molde CBR.
- Compacte la muestra de suelo dentro del molde en cinco capas uniformes, dando 56 golpes con el martillo de compactación para cada capa.
- Una vez compactada la quinta capa, utilice una regla o un nivel metálico para nivelar la superficie del suelo.
- Se debe colocar una placa base perforada en la parte inferior del molde.
- Si es necesario, remoje la muestra durante 96 horas para reproducir las condiciones de humedad del terreno.
- Para reproducir el peso de la construcción, coloque un collarín perforado sobre el molde y aplique una sobrecarga.
- Coloque el molde CBR que contiene la muestra compactada en el equipo de carga.
- Presione el punzón del penetrómetro sobre la superficie de la muestra.
- Determine las cargas que corresponden a penetraciones de 0,625 mm, 1,25 mm, 1,875 mm, 2,5 mm, 3,75 mm, 5 mm, 7,5 mm, 10 mm y 12,5 mm aplicando la carga a una velocidad constante de 1,25 mm/min.

Figura 7*Ensayo de CBR*

3.7 Procesamiento y análisis de datos

Los datos se ordenarán en tablas estructuradas para su tratamiento y análisis con el fin de facilitar su visualización. A continuación, los resultados se comprenderán e interpretarán mejor mediante el uso de sofisticadas herramientas matemáticas y gráficas. Se aplicarán métodos estadísticos rigurosos para identificar patrones y realizar cálculos precisos como promedios y desviaciones estándar. La creación de gráficos variados permitirá una interpretación visual intuitiva. El objetivo principal es asegurar la obtención de resultados fiables y precisos mediante un análisis exhaustivo que garantice la integridad y consistencia de la información. Finalmente, se documentarán los resultados en informes claros y concisos, utilizando tanto tablas como gráficos para facilitar la comprensión y validar las conclusiones obtenidas.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación y análisis de resultados

La etapa de presentación y análisis de resultados en esta investigación es fundamental, ya que se centra en exponer y examinar los datos obtenidos. Este proceso implica organizar la información de forma clara y accesible, permitiendo una comprensión más sencilla de los datos recolectados. Para lograr esto, se utilizan diversas herramientas visuales como tablas, gráficos y figuras, que facilitan la descripción y el entendimiento de los resultados de manera concisa y efectiva.

- Se determinó el CBR del suelo de subrasante y el afirmado existente en la carretera Juliaca – Escallani.
- Evaluamos la incidencia de la adición de cenizas inorgánicas (cascaras de cebada) sobre la capacidad relativa de soporte de la subrasante.
- Al final, determinamos el espesor del afirmado resultante mediante la estabilización de la subrasante y la condición de los ejes equivalentes actuales.

A. Contenido de humedad:

Tabla 4

Humedad de las calicatas

Contenido de humedad	
Calicata	Humedad (%)
C-01	9.74
C-02	8.96
C-03	10.12
Promedio	9.61

La tabla muestra el análisis del contenido de humedad para las tres calicatas de prueba y los diversos tratamientos, indicando que la humedad para las muestras fue de 9.74%, 8.96% y 10.12% para cada caso, con un promedio de 9.61%.

Figura 8

Contenido de humedad



La tabla presenta los datos obtenidos a partir del proceso de experimentación, donde se registraron diversos valores que permitieron calcular una humedad promedio de 9.61%.



B. Análisis granulométrico:

Este análisis se lleva a cabo para determinar con precisión el tamaño de las partículas que constituyen el suelo en estudio, lo cual permite entender sus propiedades internas. El proceso se realiza siguiendo los procedimientos establecidos en las normativas vigentes para asegurar la exactitud de los resultados.

Tabla 5

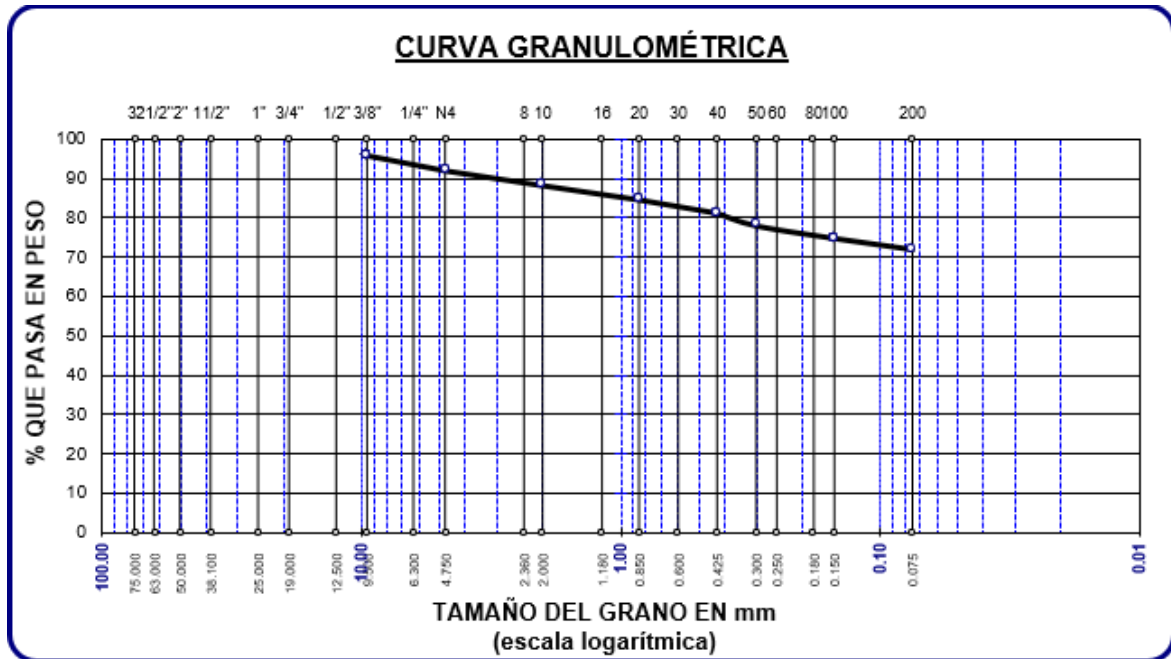
Análisis granulométrico de las calicatas

Granulometría – Suelo de subrasante			
Tamices	% pasante		
	C - 01	C - 02	C - 03
1/2"	-	-	-
3/8"	100.00	95.00	120.00
N° 4	97.16	96.34	97.28
N° 10	95.31	91.85	93.64
N° 20	91.16	87.76	91.27
N° 40	85.43	90.23	90.82
N° 50	81.33	85.78	86.17
N° 100	80.45	74.97	80.85
N° 200	71.07	58.05	78.35

Nota: Tomado a partir de la evaluación en el laboratorio.

Figura 9

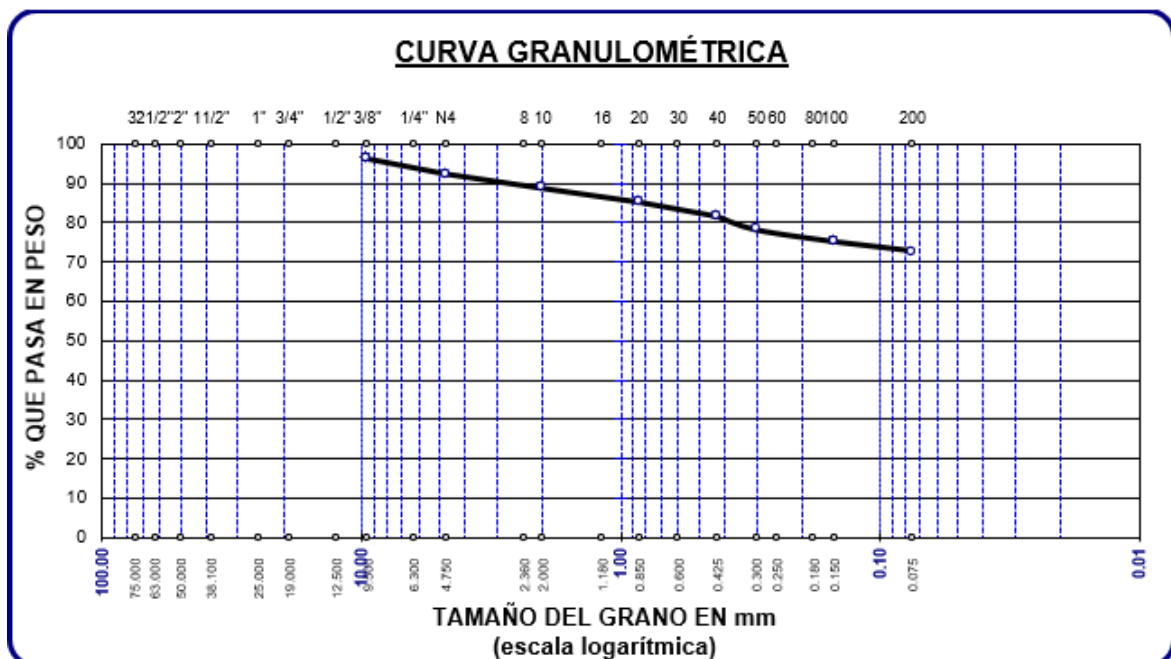
Análisis granulométrico - C1



La distribución del tamaño de los granos en el primer pozo de prueba del suelo natural se muestra en la imagen.

Figura 10

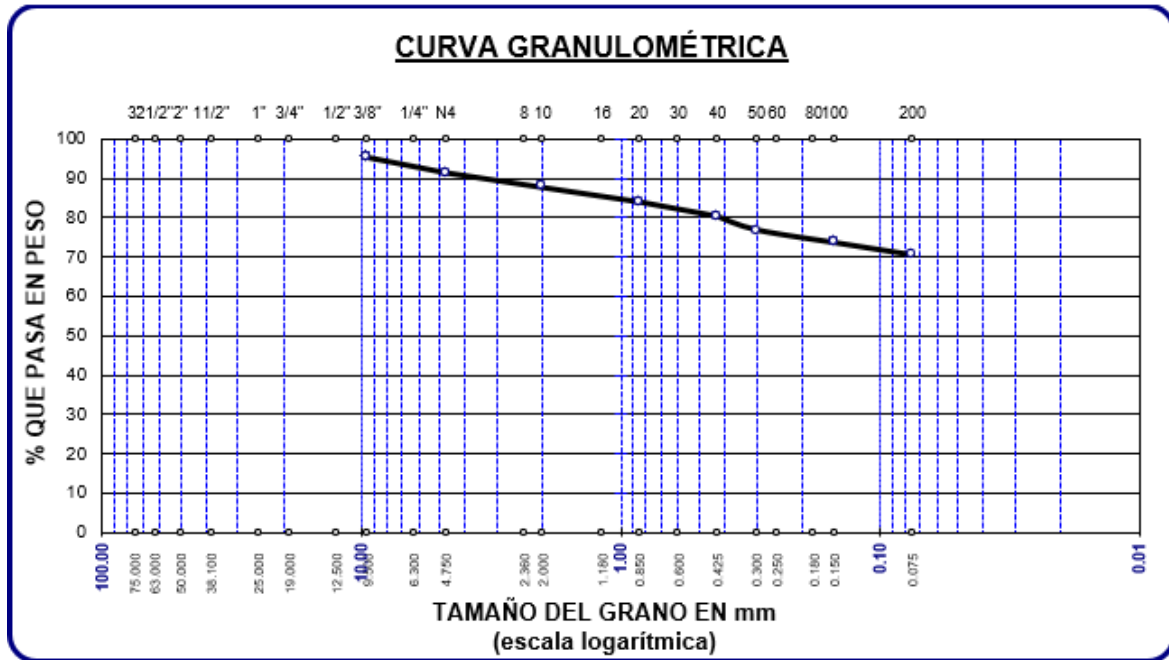
Análisis granulométrico - C2



La distribución del tamaño de los granos en el segundo pozo de prueba del suelo natural se muestra en la imagen.

Figura 11

Análisis granulométrico – C3



La distribución del tamaño de los granos en el tercer pozo de prueba del suelo natural se muestra en la imagen.

C. Índice de plasticidad:

Este índice representa la diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP). A continuación, se muestra los valores promedio obtenidos a partir de los ensayos realizados:

Tabla 6

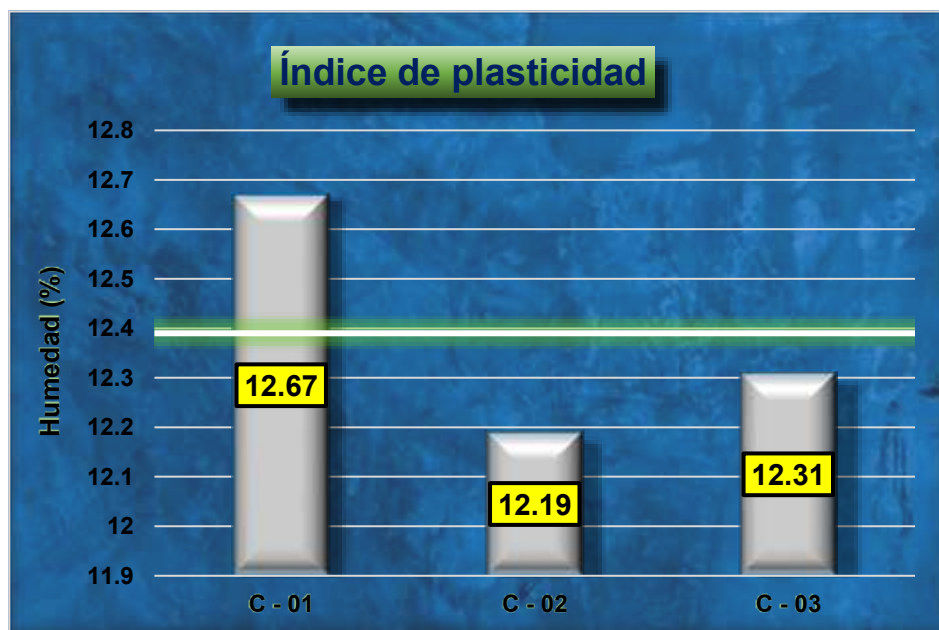
IP de las subrasantes

Límites de Atterberg – Suelo de subrasante			
Calicata	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C-01	22.08	9.41	12.67
C-02	21.82	9.63	12.19
C-03	22.35	10.04	12.31
Promedio	-	-	12.39

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 12

IP del suelo natural



La tabla muestra los resultados de las pruebas, donde se observa un índice de plasticidad promedio de 12.39%, lo cual indica que el suelo presenta una plasticidad media.

D. Grado de compactación:

Se determina a partir de la MDS que puede alcanzar una muestra de suelo cuando se encuentra en su OCH. Este valor es fundamental para evaluar la estabilidad y resistencia del suelo, ya que un buen nivel de compactación asegura una base sólida y reduce el riesgo de asentamientos diferenciales.

Tabla 7

Grado de compactación de las muestras

Grado de compactación – Suelo de Subrasante		
Calicata	MDS (gr/cc)	OCH (%)
C-1	1.766	19.60
C-2	1.752	16.38
C-3	1.759	15.83
Promedio	1.759	17.27

Los valores obtenidos de la evaluación para la MDS y la OCH de las muestras analizadas. Los resultados dan un valor promedio de 1.759 gr/cc para MDS y 17.27% para la OCH, lo cual indica las condiciones óptimas de compactación necesarias para el suelo.

Figura 13

Relación de la densidad y humedad de la C - 1

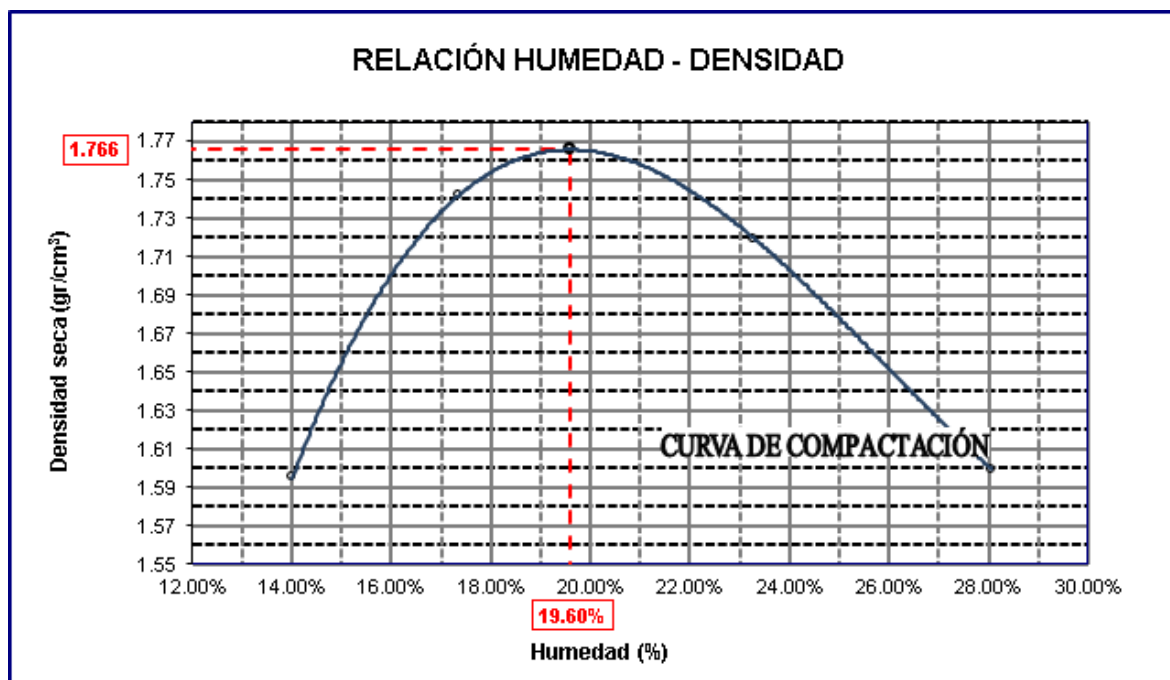


Figura 14

Relación de la densidad y humedad de la C - 2

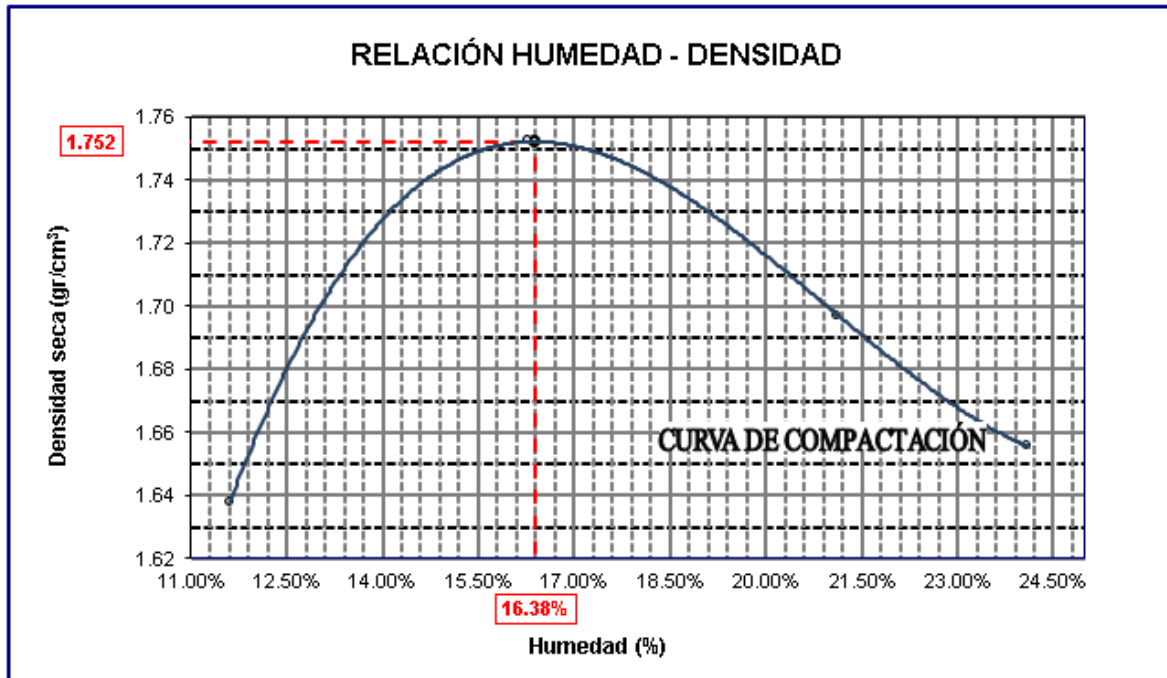
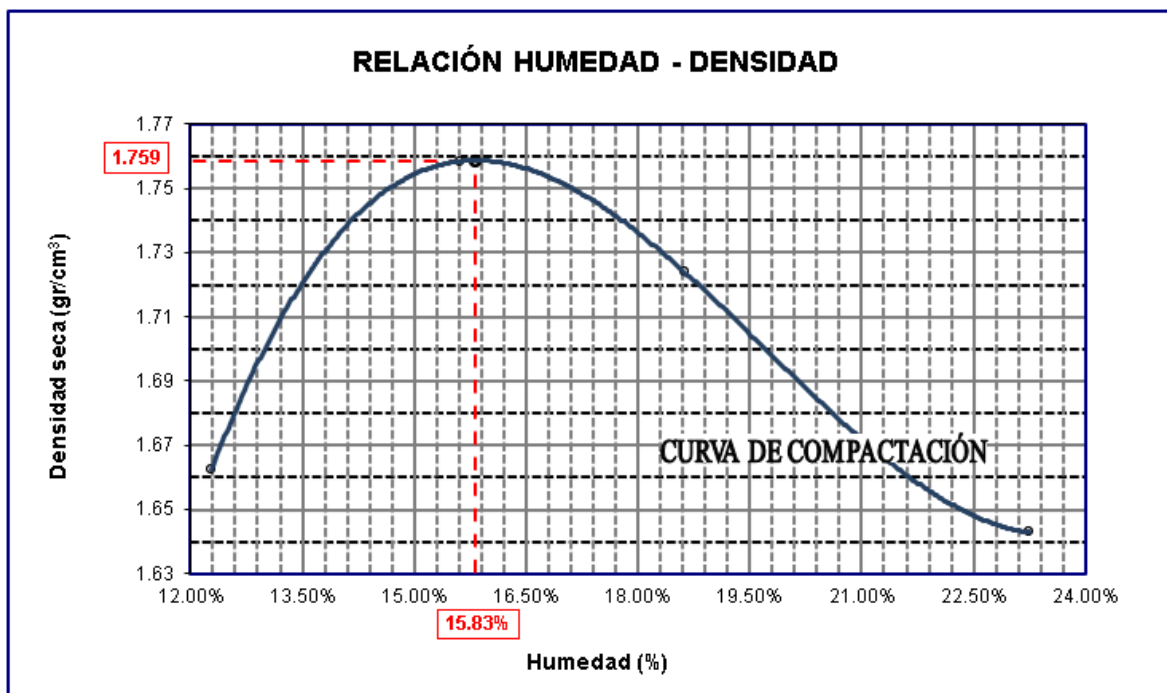


Figura 15

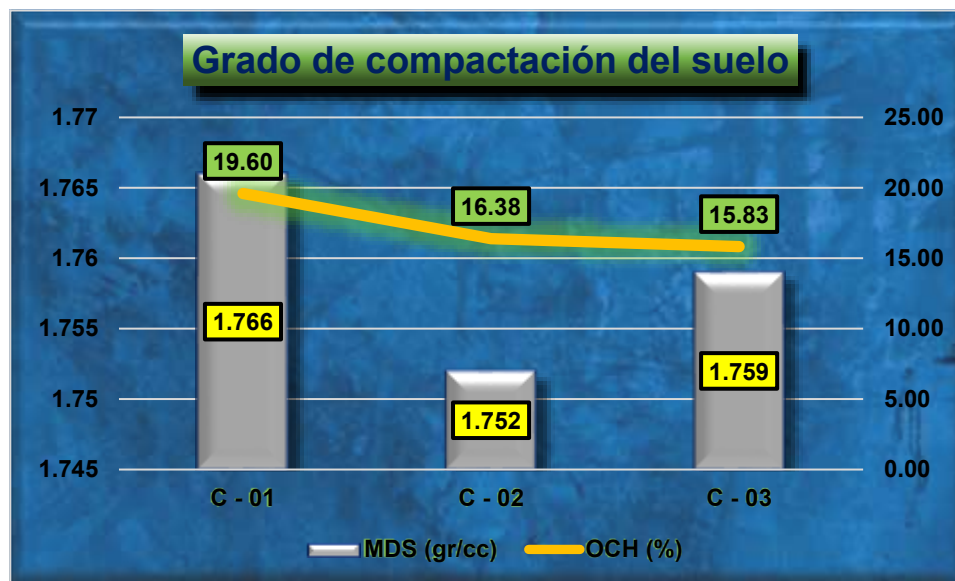
Relación de la densidad y humedad de la C - 3



La tabla proporciona los valores de la MDS y la OCH obtenidos de las muestras evaluadas. Los datos indican un promedio de 1.759 gr/cc para la MDS y un 17.27% para la OCH, valores que son esenciales para determinar las condiciones de compactación ideales del suelo bajo estudio.

Figura 16

Comparativo del grado de compactación del suelo



La figura presenta los valores obtenidos y graficados que corresponden a la relación entre la MDS del suelo y su OCH, según los resultados de laboratorio. Esta información proporciona un análisis detallado de los valores obtenidos en cada calicata, permitiendo observar los promedios ideales para las condiciones estudiadas.

4.1.1 Capacidad relativa de soporte CBR del suelo subrasante y afirmado existente

a) Capacidad relativa de soporte

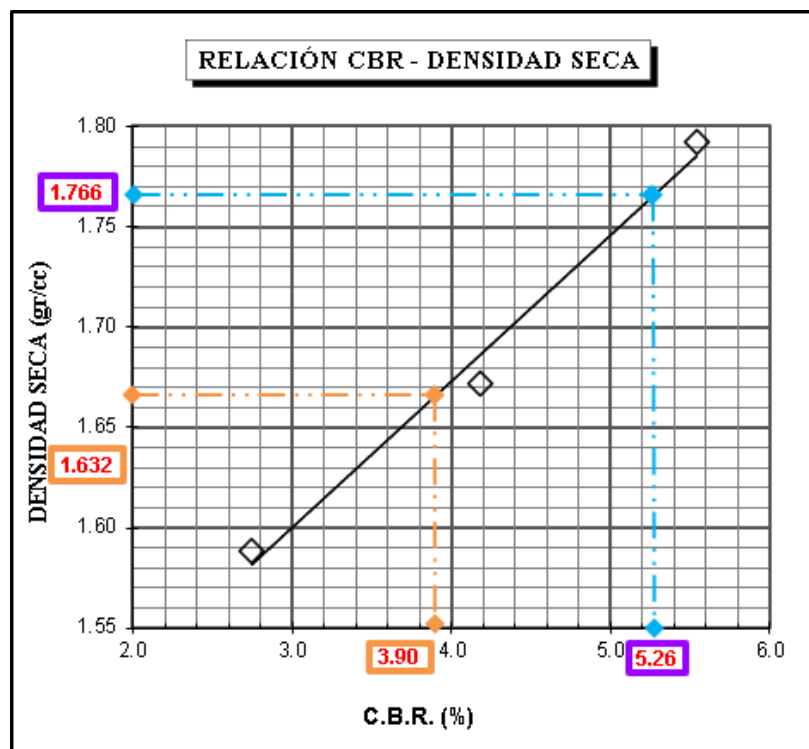
Tabla 8

CBR de las muestras

CBR – Especímenes de Subrasante		
Calicata	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
C-01	5.26	3.90
C-02	5.02	3.81
C-03	5.14	3.87
Promedio	5.14	3.86

Figura 17

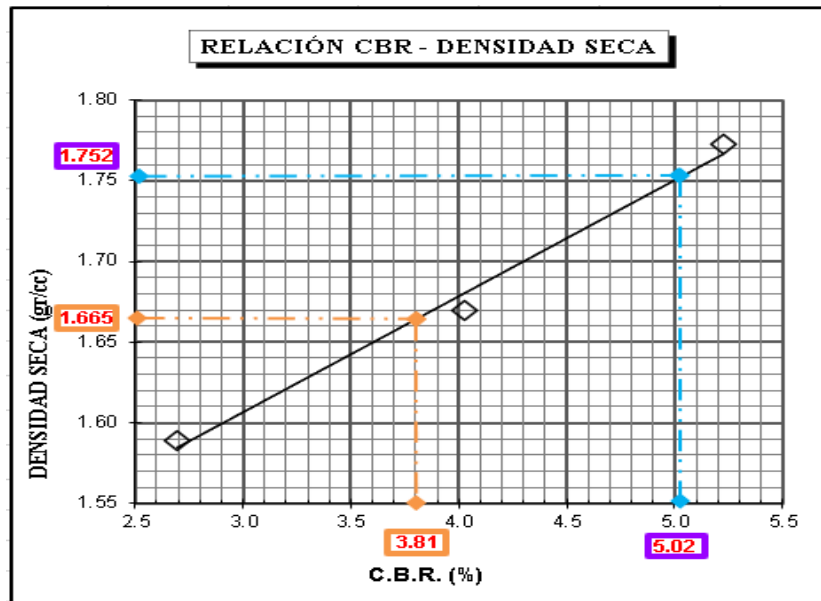
CBR de la C - 1



Se muestran los valores obtenidos del CBR correspondientes al suelo natural analizado en la vía Juliaca – Escallani. Estos estudios se relacionan con la calicata número 1, donde el valor del CBR al 100% fue de 5.26%, mientras que el CBR al 95% alcanzó valor de 3.90%.

Figura 18

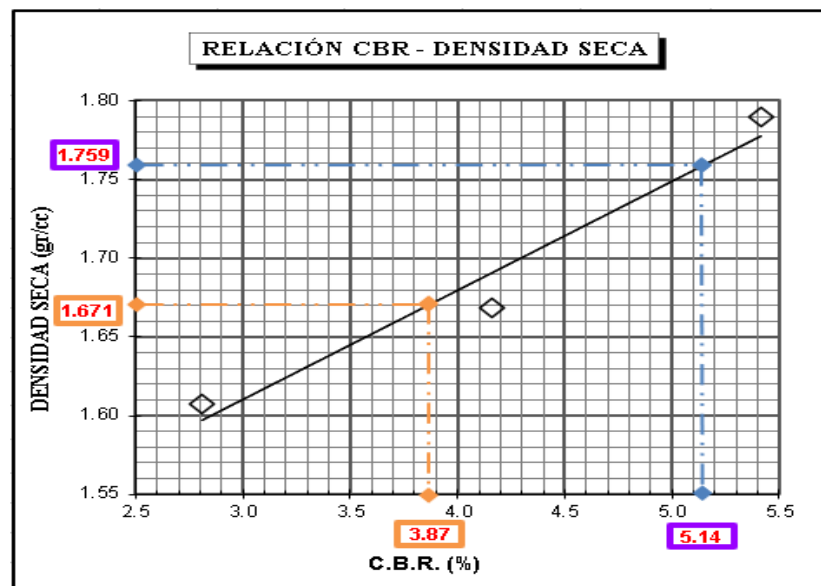
CBR de la C - 2



Se muestran los valores obtenidos del CBR correspondientes al suelo natural analizado en la vía Juliaca – Escallani. Estos estudios se relacionan con la calicata número 2, donde el valor del CBR al 100% fue de 5.02%, mientras que el CBR al 95% alcanzó valor de 3.81%.

Figura 19

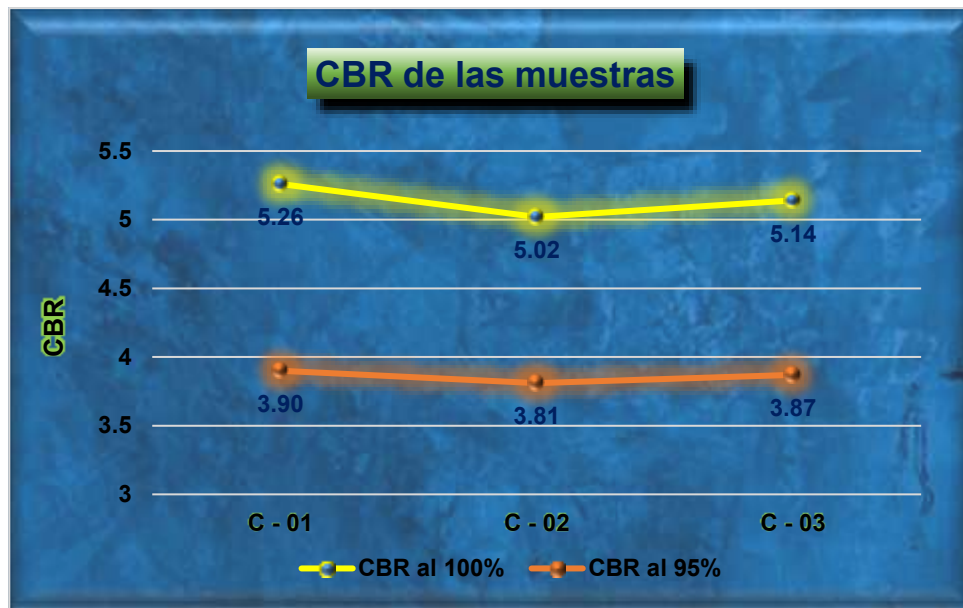
CBR de la C - 3



Se muestran los valores obtenidos del CBR correspondientes al suelo natural analizado en la vía Juliaca – Escallani. Estos estudios se relacionan con la calicata número 3, donde el valor del CBR al 100% fue de 5.14%, mientras que el CBR al 95% alcanzó valor de 3.87%.

Figura 20

Comparativo de los CBR de la subrasante natural



El gráfico indica que el CBR de los suelos examinados mostró un comportamiento variable durante los experimentos. En el pozo de prueba 1, se registró un CBR al 100% del 5,26% y del 3,90% al 95%. El pozo de prueba número 2 arrojó un CBR al 100% del 5,02% y 3,81% al 95%. La muestra 3 alcanzó un CBR del 5,14 % al 100 % y del 3,87 % al 95 %.

b) Calculamos el afirmado existente.

$$e = [219 - 211 * (\log CBR) + 58 * (\log CBR)^2] * \log\left(\frac{N_{rep.}}{120}\right)$$

$$e = 273 \text{ mm}$$

$$e = 27 \text{ cm}$$

Luego del periodo de evaluación, se verificó que el espesor real de la capa de afirmado corresponde a 27 cm, valor que fue debidamente medido y validado con precisión durante la inspección en campo.

4.1.2 Adición de la ceniza inorgánica sobre la capacidad relativa de soporte de la subrasante

a) Capacidad de soporte + 5.5% Ceniza inorgánica (cascaras de cebada)

Tabla 9

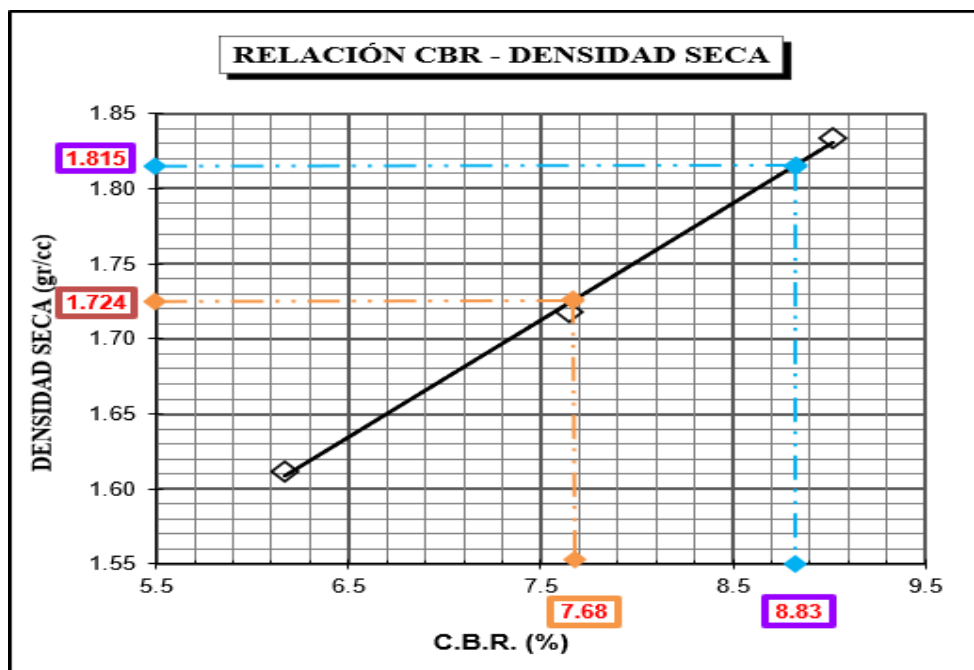
CBR del SN + 5.5% CI

CBR del SN + 5.5% ceniza inorgánica		
Calicata	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
S/N	5.14	3.86
C1 + 5.5% CI	8.83	7.68
C2 + 5.5% CI	10.31	8.82
C3 + 5.5% CI	8.79	7.53
Promedio	9.31	8.01

Los resultados obtenidos en las calicatas en relación con los valores de CBR determinados al 100% y 95%. Se obtuvo un valor promedio de 9.31% para la condición de máxima compactación 100% y un 8.01% como promedio correspondiente al 95% de compactación.

Figura 21

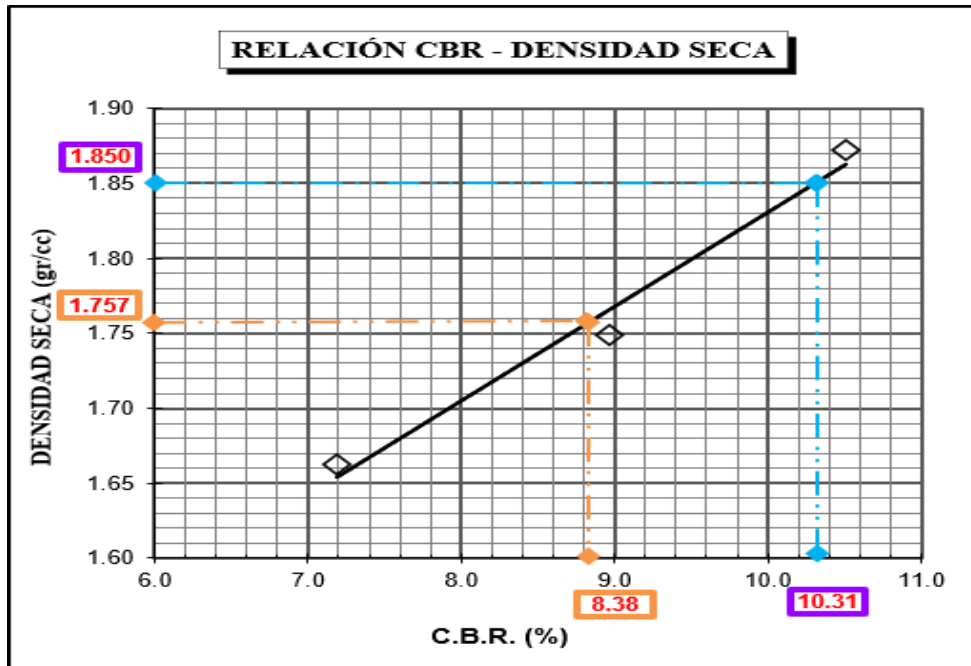
C- 1, CBR + Ceniza inorgánica 5.5%



La grafica enseña los valores del suelo natural y el CBR + 5.5% de CI analizado en la vía Juliaca – Escallani. Estos estudios se relacionan con la calicata número 1, donde el valor del CBR al 100% fue de 8.83%, mientras que el CBR al 95% alcanzó un valor de 7.68%.

Figura 22

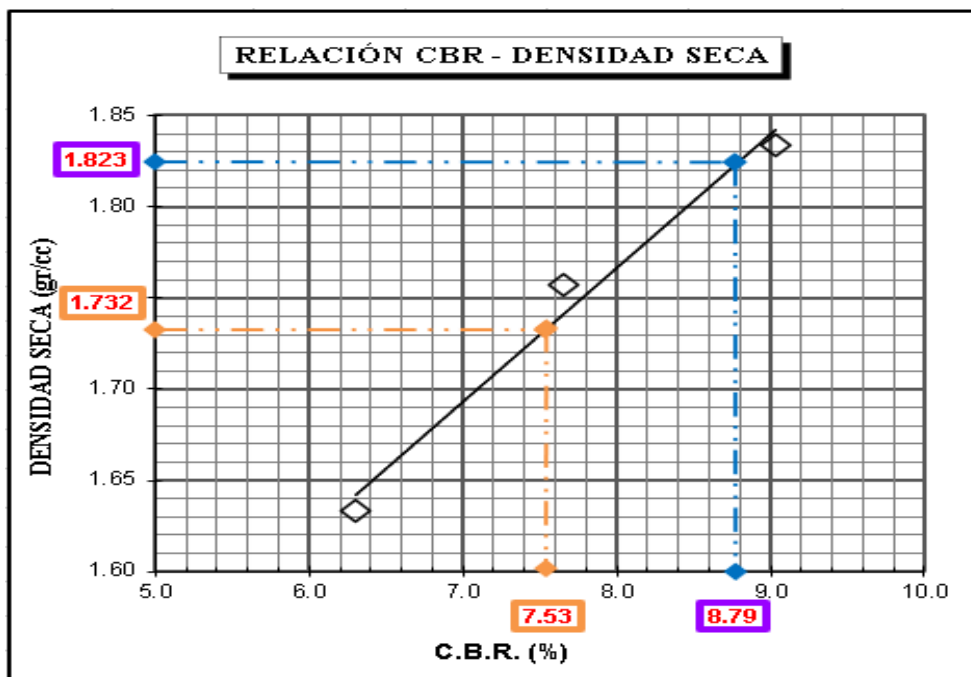
C – 2, CBR + Ceniza inorgánica 5.5%



La grafica enseña los valores del suelo natural y el CBR + 5.5% de CI analizado en la vía Juliaca – Escallani. Estos estudios se relacionan con la calicata número 2, donde el valor del CBR al 100% fue de 10.31%, mientras que el CBR al 95% alcanzó un valor de 8.38%.

Figura 23

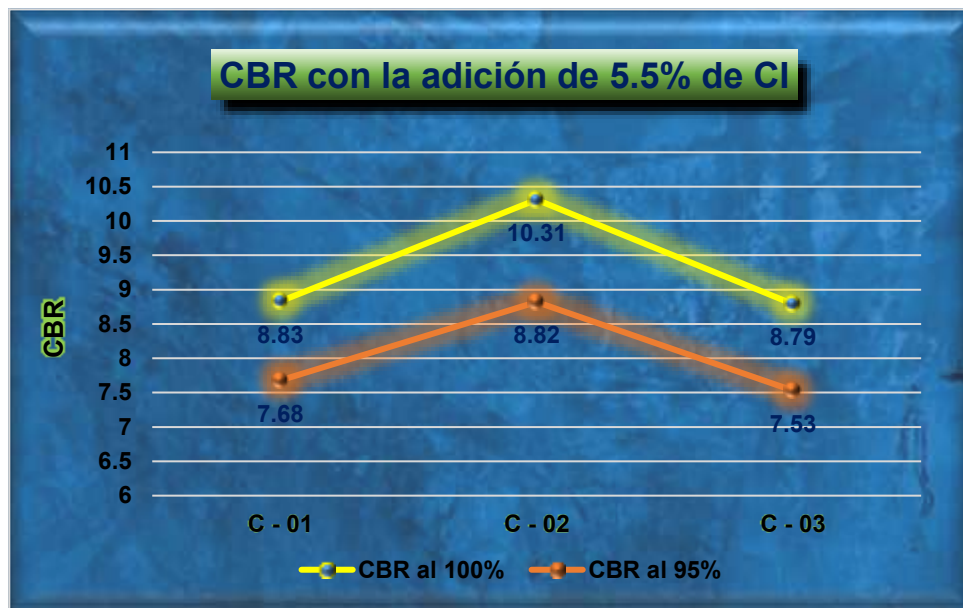
C – 3, CBR + Ceniza inorgánica 5.5%



La grafica enseña los valores del suelo natural y el CBR + 5.5% de CI analizado en la vía Juliaca – Escallani. Estos estudios se relacionan con la calicata número 3, donde el valor del CBR al 100% fue de 8.79%, mientras que el CBR al 95% alcanzó un valor de 7.53%.

Figura 24

Comparativa del CBR de la subrasante natural + Ceniza inorgánica 5.5%



A partir de la interpretación de la gráfica obtenida, se identificó que la capacidad de soporte (CBR) de la subrasante fue influenciada por la incorporación del 5.5% de ceniza inorgánica (proveniente de cáscaras de cebada). Los resultados reflejaron variaciones en el comportamiento mecánico del suelo: en la primera calicata, los valores del CBR fueron de 8.83% al 100% de compactación y 7.68% al 95%; en la segunda, se registraron 10.31% y 8.82%, respectivamente; mientras que la tercera muestra presentó un CBR de 8.79% al 100% y de 7.53% al 95% de compactación.

b) Capacidad de soporte + 7.0% Ceniza inorgánica (cascara de cebada)

Tabla 10

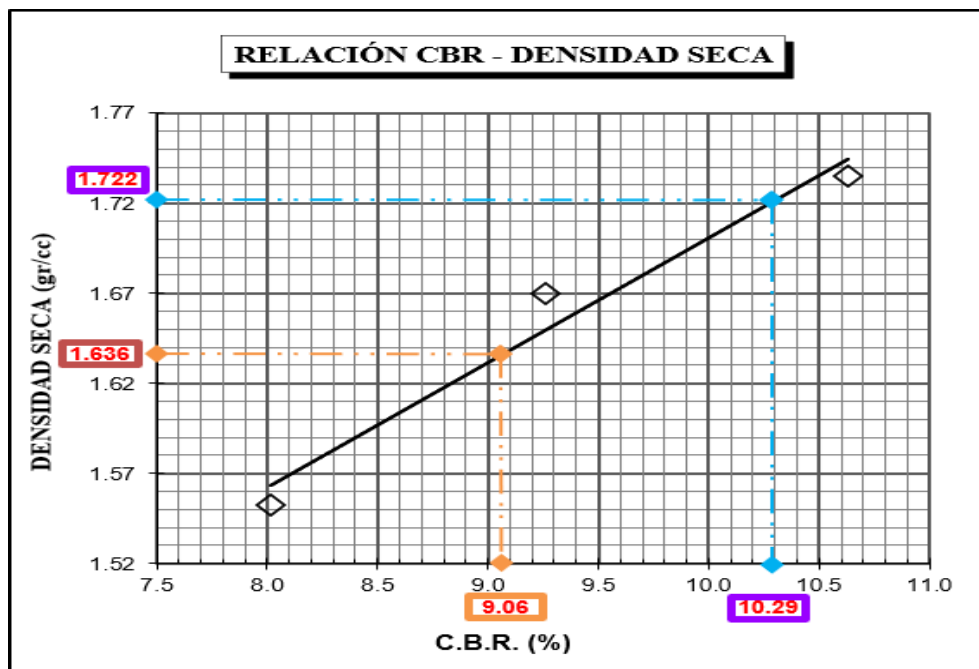
CBR del SN + 7.0% CI

CBR del SN + 7.0% ceniza inorgánica		
Calicata	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
S/N	5.14	3.86
C1 + 7.0% CI	10.29	9.06
C2 + 7.0% CI	11.92	10.98
C3 + 7.0% CI	11.04	9.72
Promedio	11.08	9.92

Los resultados obtenidos en las calicatas en relación con los valores de CBR determinados al 100% y 95%. Se obtuvo un valor promedio de 11.08% para la condición de máxima compactación 100% y un 9.92% como promedio correspondiente al 95% de compactación.

Figura 25

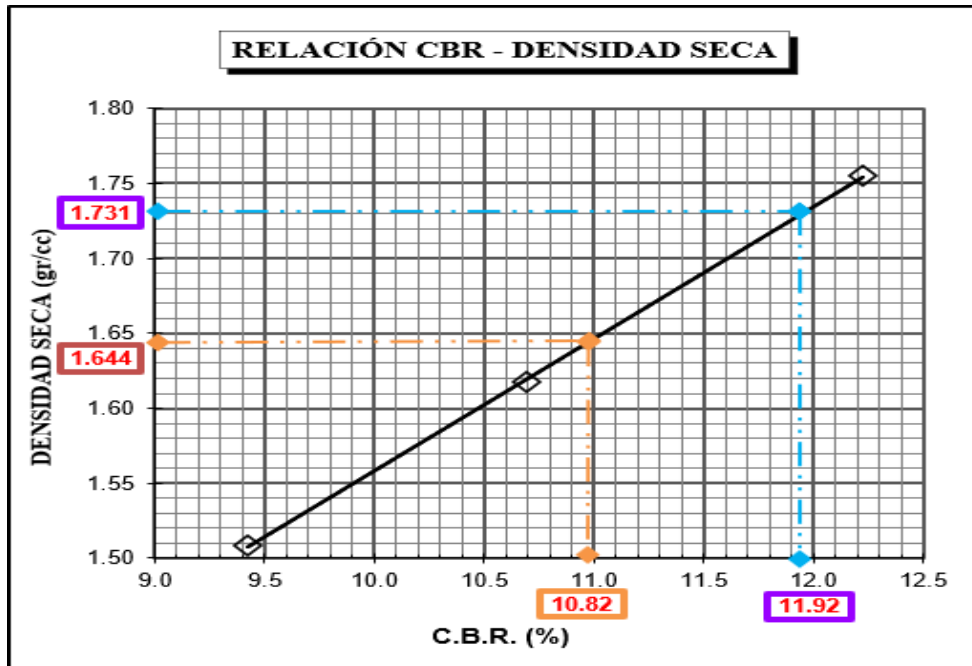
C – 1, CBR + Ceniza inorgánica 7.0%



La grafica enseña los valores del suelo natural y el CBR + 7.0% de CI analizado en la vía Juliaca – Escallani. Estos estudios se relacionan con la calicata número 1, donde el valor del CBR al 100% fue de 10.29%, mientras que el CBR al 95% alcanzó un valor de 9.06%.

Figura 26

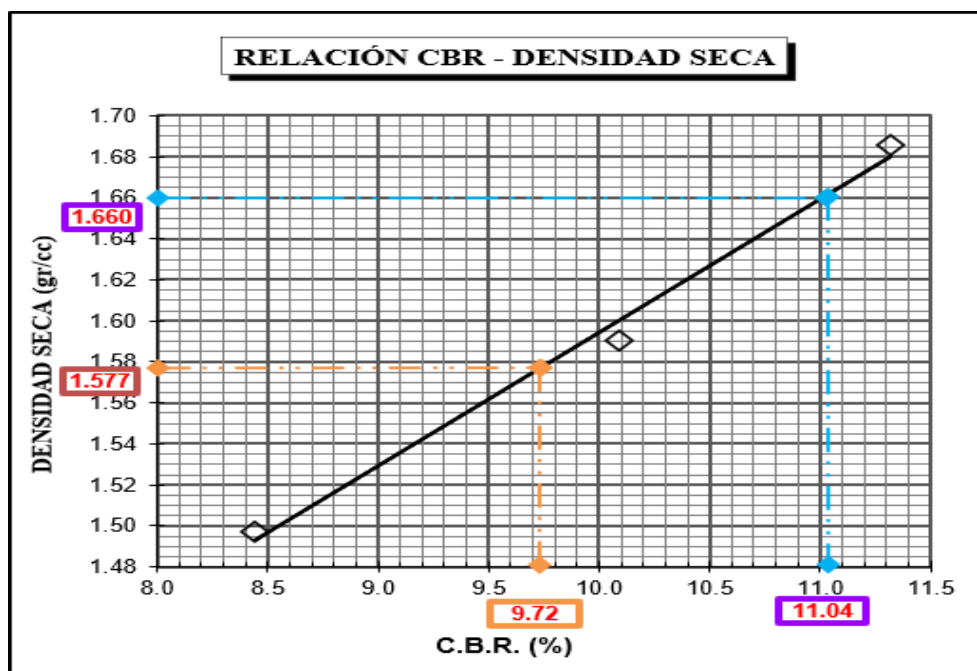
C – 2, CBR + Ceniza inorgánica 7.0%



La grafica enseña los valores del suelo natural y el CBR + 7.0% de CI analizado en la vía Juliaca – Escallani. Estos estudios se relacionan con la calicata número 2, donde el valor del CBR al 100% fue de 11.92%, mientras que el CBR al 95% alcanzó un valor de 10.82%.

Figura 27

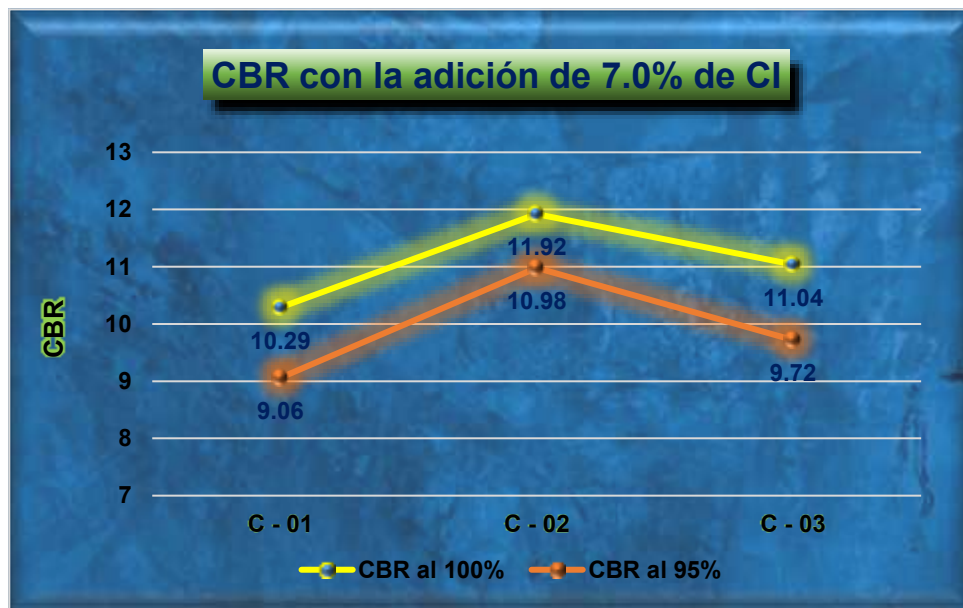
C – 3, CBR + Ceniza inorgánica 7.0%



La grafica enseña los valores del suelo natural y el CBR + 7.0% de CI analizado en la vía Juliaca – Escallani. Estos estudios se relacionan con la calicata número 3, donde el valor del CBR al 100% fue de 11.04%, mientras que el CBR al 95% alcanzó un valor de 9.72%.

Figura 28

Comparativa del CBR de la subrasante natural + Ceniza inorgánica 7.0%



A partir de la interpretación de la gráfica obtenida, se identificó que la capacidad de soporte (CBR) de la subrasante fue influenciada por la incorporación del 7.0% de ceniza inorgánica (proveniente de cáscaras de cebada). Los resultados reflejaron variaciones en el comportamiento mecánico del suelo: en la primera calicata, los valores del CBR fueron de 10.29% al 100% de compactación y 9.06% al 95%; en la segunda, se registraron 11.92% y 10.98%, respectivamente; mientras que la tercera muestra presentó un CBR de 11.04% al 100% y de 9.72% al 95% de compactación.

c) Capacidad de soporte + 8.5% Ceniza inorgánica (cascara de cebada)

Tabla 11

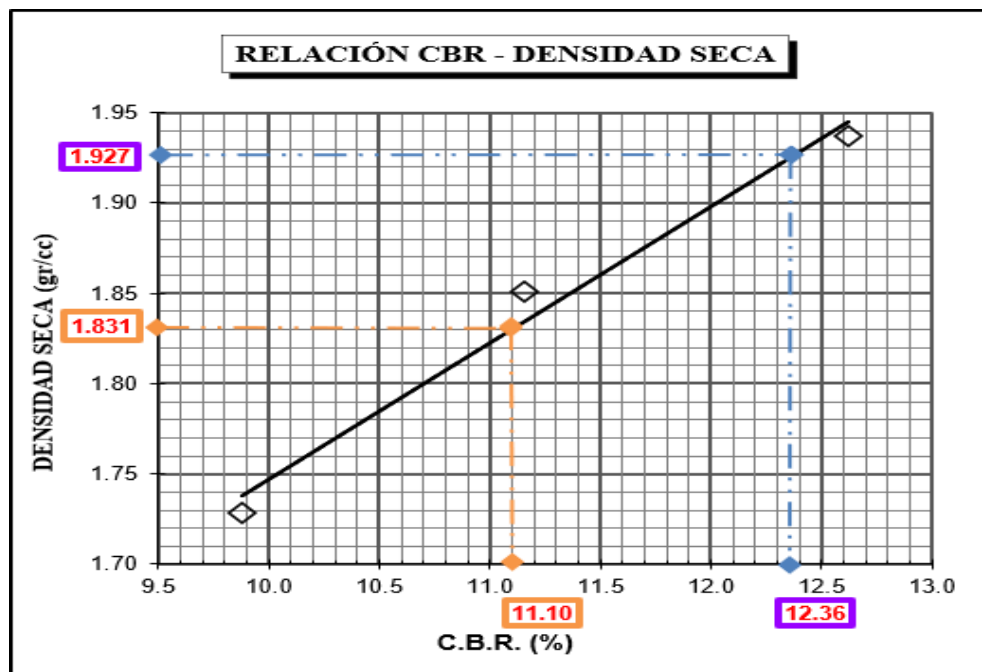
CBR del SN + 8.5% CI

CBR del SN + 8.5% ceniza inorgánica		
Calicata	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
S/N	5.14	3.86
C1 + 8.5% CI	12.36	11.10
C2 + 8.5% CI	12.62	11.44
C3 + 8.5% CI	13.01	11.78
Promedio	12.66	11.44

Los resultados obtenidos en las calicatas en relación con los valores de CBR determinados al 100% y 95%. Se obtuvo un valor promedio de 12.66% para la condición de máxima compactación 100% y 11.44% como promedio correspondiente al 95% de compactación.

Figura 29

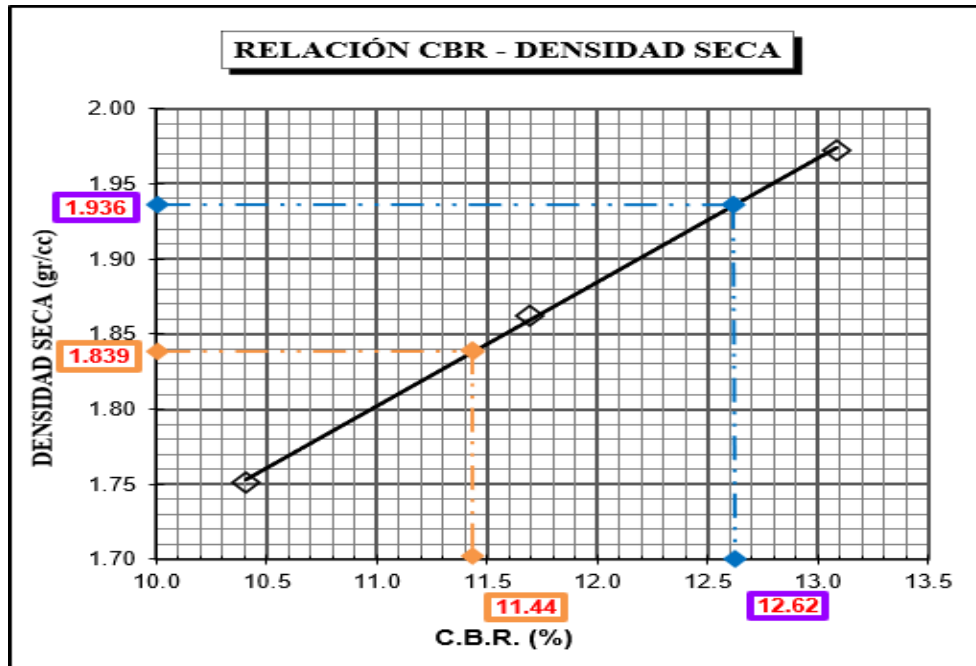
C – 1, CBR + Ceniza inorgánica 8.5%



La grafica enseña los valores del suelo natural y el CBR + 8.5% de CI analizado en la vía Juliaca – Escallani. Estos estudios se relacionan con la calicata número 1, donde el valor del CBR al 100% fue de 12.36%, mientras que el CBR al 95% alcanzó un valor de 11.10%.

Figura 30

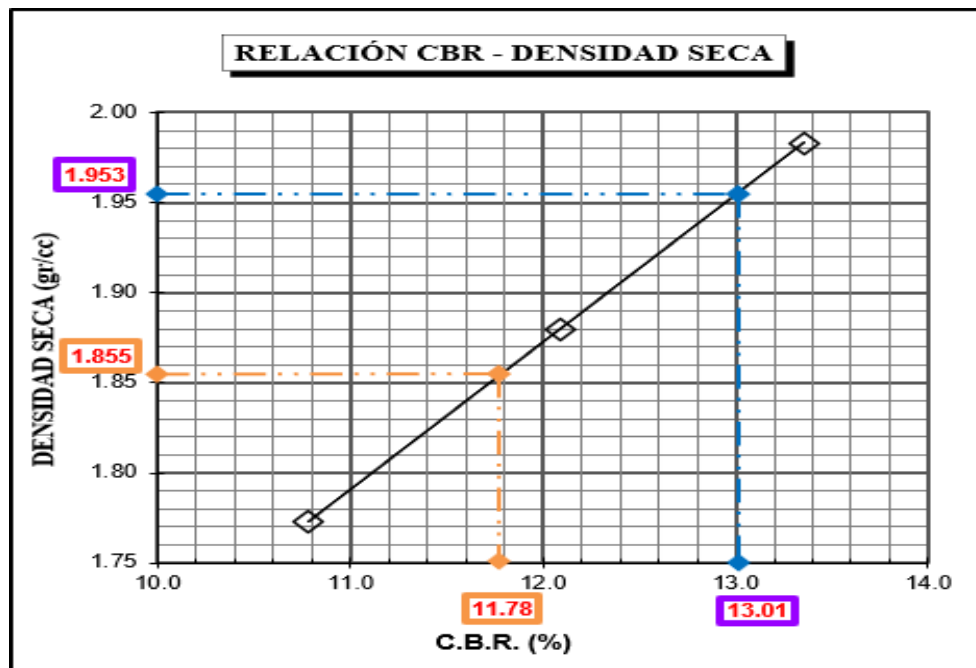
C – 2, CBR Ceniza inorgánica 8.5%



La grafica enseña los valores del suelo natural y el CBR + 8.5% de CI analizado en la vía Juliaca – Escallani. Estos estudios se relacionan con la calicata número 2, donde el valor del CBR al 100% fue de 12.62%, mientras que el CBR al 95% alcanzó un valor de 11.44%.

Figura 31

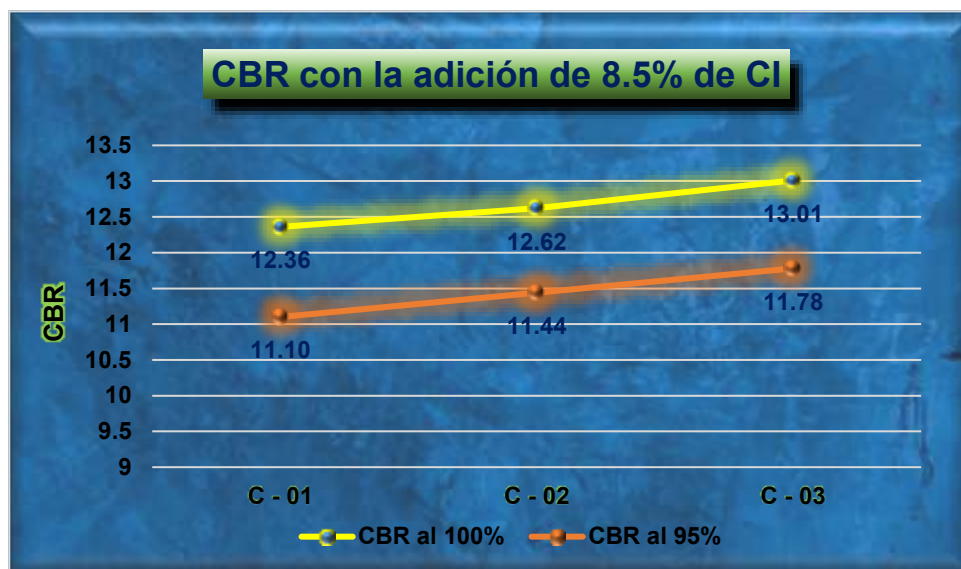
C – 3, CBR + Ceniza inorgánica 8.5%



La grafica enseña los valores del suelo natural y el CBR + 8.5% de CI analizado en la vía Juliaca – Escallani. Estos estudios se relacionan con la calicata número 3, donde el valor del CBR al 100% fue de 13.01%, mientras que el CBR al 95% alcanzó un valor de 11.78%.

Figura 32

Comparativa del CBR de la subrasante natural + Ceniza inorgánica 8.5%



A partir de la interpretación de la gráfica obtenida, se identificó que la capacidad de soporte (CBR) de la subrasante fue influenciada por la incorporación del 8.5% de ceniza inorgánica (proveniente de cáscaras de cebada). Los resultados reflejaron variaciones en el comportamiento mecánico del suelo: en la primera calicata, los valores del CBR fueron de 12.36% al 100% de compactación y 11.10% al 95%; en la segunda, se registraron 12.62% y 11.44%, respectivamente; mientras que la tercera muestra presentó un CBR de 13.01% al 100% y de 11.78% al 95% de compactación.

d) Resultados obtenidos del CBR con la adición de ceniza inorgánica

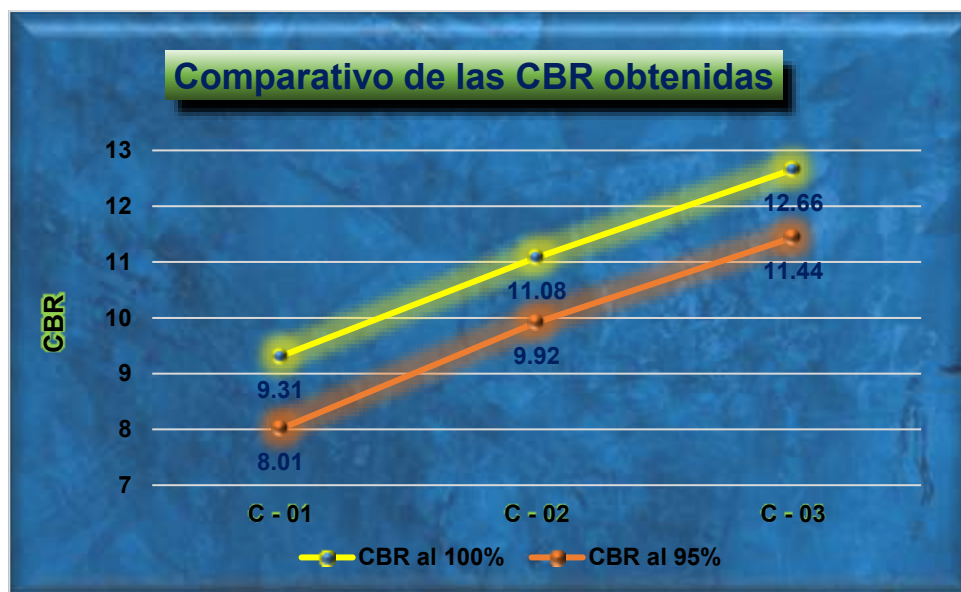
Tabla 12

Resultados obtenidos del CBR

Calicata	CBR + Ceniza inorgánica	
	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
S/N	5.14	3.86
C1 + 5.5% CI	9.31	8.01
C2 + 7.0% CI	11.08	9.92
C3 + 8.5% CI	12.66	11.44

Figura 33

Comparativa de las CBR obtenidas



Se logró divisar mediante la gráfica la comparativa de los CBR de la subrasante con la adición de ceniza inorgánica (cascaras de cebada) sobre los suelos estudiados, obteniendo diferentes comportamientos con la adición de dicho material, en la calicata 1 se observa un CBR al 100% de 9.31% y 8.01% al 95%, para la calicata número 2 se obtuvo al 100% un CBR de 11.08% y 9.92% al 95% y finalmente la muestra 3 alcanzó un CBR al 100% de 12.66% y para el 95% se obtuvo un 11.44%, evidenciando un notable incremento con la adición de la ceniza orgánica.

4.1.3 *Espesor del afirmado luego de la estabilización de la subrasante y la consideración de los ejes equivalentes*

Como parte de mi tesis, he abordado la optimización de la subrasante de la carretera mediante la estabilización del suelo con la adición de cenizas inorgánicas. Esta técnica tiene como objetivo mejorar el índice CBR del suelo, lo cual es fundamental para asegurar una base sólida para el pavimento y las capas de afirmado que se aplicarán posteriormente.

Después de mejorar el CBR con la incorporación de ceniza inorgánica (cascara de cebada), procedí a la evaluación del espesor necesario para el afirmado de la carretera. Para ello, utilicé las fórmulas y métodos de diseño establecidos por el Manual de Carreteras y Pavimentos del MTC, que relacionan directamente el CBR con la capacidad de carga del pavimento. En el caso de la carretera Juliaca – Escallani, también tomé en cuenta los ejes equivalentes actuales, que son una medida de la carga vehicular esperada en la vía, lo que me permitió determinar el espesor óptimo para la capa de afirmado.

Datos del CBR mediante el estudio de suelos.

De acuerdo con el Manual de Carreteras, Suelos y Pavimentos del MTC, se proporcionan los parámetros CBR para sub rasante.

Tabla 13

Parámetros de la subrasante

Clase de subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	De; CBR < 03%
S1: Subrasante insuficiente	De; CBR ≥ 03% a CBR < 06%
S2: Subrasante regular	De; CBR ≥ 06% a CBR < 10%
S3: Subrasante buena	De; CBR ≥ 10% a CBR < 20%
S4: Subrasante muy buena	De; CBR ≥ 20% a CBR < 30%
S5: Subrasante excelente	De; CBR < 30%

Nota: Manual de carreteras DG-2014

El análisis mecánico realizado a las muestras de suelo correspondientes a la subrasante indicó un valor promedio de CBR de 9.79%, obtenido al 95% de la densidad seca máxima. Este resultado sitúa al suelo dentro de una categoría de capacidad portante regular, cercana al rango comprendido entre 10% y 20%, lo cual sugiere condiciones aceptables para su uso como subrasante en estructuras de pavimento.

Tabla 14*CBR de diseño al 95%*

Calicatas	CBR de diseño al 95%
C1 + 5.5% CI	8.01
C2 + 7.0% CI	9.60
C3 + 8.5% CI	11.44
Promedio	9.79

Los análisis realizados al material de cantera destinado al afirmado evidencian que cumple satisfactoriamente con los requisitos técnicos establecidos en el Manual de Carreteras: Suelos, Geotecnia y Pavimentos, lo que confirma su idoneidad para ser utilizado en capas de afirmado.

Datos del estudio de tráfico.

Para el desarrollo del diseño de la capa de afirmado, se recopilaron los siguientes datos:

IMDA : 8

Vehículos pesados : 4

Nrep de EE 8.2 ton : 28248.00 (2.92E+04)

Espesor de afirmado.

El espesor de la capa de afirmado fue determinado utilizando la fórmula propuesta por la NAASRA, la cual establece una relación entre la capacidad de soporte del

suelo, representada por el valor del CBR, y la magnitud de la carga aplicada, expresada en función del número de repeticiones de Ejes Equivalentes (EE):

$$e = [219 - 211 * (\log CBR) + 58 * (\log CBR)^2] * \log\left(\frac{N_{rep.}}{120}\right)$$

Donde:

e = Espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = Valor del CBR de la subrasante.

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

Al aplicar los valores obtenidos en la ecuación correspondiente, se determinó un espesor de diseño para la capa de afirmado equivalente a 158.63 mm.

$$e = 16 \text{ cm}$$

Figura 34

Cuadro de ejes equivalentes y espesores (MTC)

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



De acuerdo con la tabla del MTC, se aprecia que el CBR de diseño esta entre el 9% y 10%. Mientras que los ejes equivalentes están entre los rangos de 25,000 y 30,000 lo que genera que nuestro espesor de afirmado es de 158.63 al estar entre el rango de 200 mm. Este espesor cumple con lo especificado por el MTC.

Tabla 15

Comparativo del espesor del afirmado

Descripción	Espesor
Espesor del afirmado existente	27 cm
Espesor del afirmado con la estabilización de la subrasante	16 cm

Se demostró que la estabilización de la subrasante utilizando la ceniza inorgánica (cascara de cebada) resultó en una mejora significativa en las propiedades del suelo, permitiendo optimizar el espesor del afirmado. Gracias a esta estabilización, el espesor requerido para el afirmado se redujo en aproximadamente 11 cm, lo cual representa una mejora considerable en términos de eficiencia en la construcción y en el uso de materiales.

El uso de la ceniza inorgánica (cascara de cebada) para estabilizar la subrasante ofrece un enfoque innovador que no solo mejora la calidad del suelo, sino que también optimiza los costos del proyecto.



4.2 Discusión de resultados

En este estudio, se evaluó exhaustivamente el uso de la ceniza inorgánica (cascara de cebada) como material estabilizador para la subrasante en suelos, analizando su influencia en el diseño del espesor de afirmado. Se llevaron a cabo experimentos utilizando tres concentraciones distintas de cenizas inorgánicas: 5.5%, 7.0% y 8.5%. Los resultados obtenidos de la prueba de CBR al 95% indicaron una mejora notable en la resistencia del suelo, demostrando el potencial de este aditivo para mejorar la estabilidad del terreno. Inicialmente, el valor de CBR del suelo sin tratamiento fue de 3.86%. Al añadir un 5.5% de ceniza inorgánica (cascara de cebada), se observó un incremento del CBR a 8.01%. Con la adición de un 7.0%, el CBR aumentó al 9.92%, y con un 8.5%, se alcanzó un valor de 11.44%.

Estos resultados son consistentes con los obtenidos en estudios previos, como el realizado por Curasma (2021), quien exploró el uso de cenizas inorgánicas como estabilizador de suelo en la subrasante de la avenida Integración Este en Huancayo. En dicho estudio, se evaluaron concentraciones del 15%, 20% y 25% de cenizas inorgánicas, observando variaciones significativas en la capacidad de soporte del suelo a un 95%. En la primera prueba con 15%, el CBR alcanzó un valor de 12.56%; con la adición de 20%, el CBR aumentó a 17.74%, y finalmente, con el 25%, el valor de CBR alcanzó 23.40%. Estos resultados muestran una tendencia similar a los obtenidos en el presente estudio, confirmando la eficacia de las cenizas inorgánicas como estabilizador de suelos.

En el trabajo realizado por Alegría y Lago (2021), el objetivo principal fue el diseño de la carretera "Pampa Lagunas – Jolluco", ubicada en el distrito de Cascas, cuya clasificación corresponde a una vía de tercera categoría. Para el diseño geométrico de la vía, se utilizó el software Civil 3D para la toma de datos topográficos, considerando una longitud total de 3+750 km, lo que permitió cumplir con los lineamientos establecidos en el "Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG - 2014". En el análisis de la mecánica



de suelos, se llevó a cabo una prueba de CBR que arrojó un valor de 12.25% para la subrasante buena (S3), lo que resultó en un CBR mínimo en el suelo. A partir de este valor, se consideraron los número de repeticiones de los ejes equivalentes (27109.00), lo que determinó que el espesor necesario del afirmado fuera de 0.14 metros.

Por otro lado, en el proyecto de investigación que estamos llevando a cabo, se presenta una diferencia importante en cuanto al resultado del CBR. En nuestro estudio, la subrasante regular (S2) fue estabilizada mediante la adición de cenizas inorgánicas, lo que permitió alcanzar un valor promedio de CBR de 9.79%, obteniendo así una mejora en la resistencia del suelo. Utilizando el mismo procedimiento de cálculo que en el estudio de Díaz y Díaz, se determinó que el número de repeticiones de los ejes equivalentes en nuestro caso fue de 28248.00. Con estos datos, el espesor de afirmado necesario para la vía fue calculado en 0.16 metros, un valor que se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la DG - 2014.

Estos resultados resaltan la efectividad del uso de la ceniza inorgánica (cascara de cebada) como estabilizador de suelos, mejorando la resistencia de la subrasante y permitiendo un diseño de espesor de afirmado más eficiente, lo cual puede ser una alternativa interesante frente a los métodos convencionales en zonas con disponibilidad de este tipo de materiales. La incorporación de estos aditivos no solo mejora las características mecánicas del suelo, sino que también ofrece una solución más sostenible y rentable, al aprovechar materiales naturales que de otro modo serían desechados.

CONCLUSIONES

General, en este trabajo se determinó que la adición de ceniza inorgánica proveniente de la cáscara de cebada a suelos de subrasante con baja capacidad de soporte, como los encontrados en la carretera Juliaca–Escallani, mejora significativamente sus propiedades mecánicas, en especial su valor de CBR. Se evidenció que, a medida que se incrementa el porcentaje de ceniza el CBR aumenta. Además, se comprobó que esta estabilización no solo mejora la resistencia del suelo, sino que permite reducir el espesor del afirmado.

Primero, en el análisis del CBR del suelo de subrasante existente en la carretera Juliaca - Escallani, se realizaron mediciones en diversos puntos de control a lo largo de la vía. Los resultados obtenidos mostraron valores de CBR que varían ligeramente entre las diferentes calicatas; en la calicata 1, el CBR fue de 3.90%; en la calicata 2 fue de 3.81%; y en la calicata 3 fue de 3.87%. Además el espesor del afirmado existente en la carretera fue de 27 cm.

Segundo, se evaluó la incidencia de la adición de la ceniza inorgánica proveniente de la cascara de cebada sobre la capacidad relativa de soporte en proporciones de 5.5%, 7.0% y 8.5%. Los resultados obtenidos en la prueba de CBR al 95% mostraron mejoras progresivas en la resistencia del suelo conforme se incrementaba la cantidad de ceniza inorgánica, con la adición de 5.5% alcanzo un CBR de 8.01%, con la adición de 7.0% alcanzo un CBR de 9.92% y con la adición de 8.5% se obtuvo un CBR de 11.44%.

Tercero, se evaluó el espesor del afirmado después de realizar la estabilización de la subrasante mediante la incorporación de la ceniza inorgánica proveniente de la cascara de cebada. Los resultados obtenidos presentaron un CBR promedio de 9.79%, el número de ejes equivalentes (EE) alcanzo un total de 28248. Este valor indica una mejora significativa en la resistencia del suelo estabilizado, lo que permitió reducir el espesor del afirmado. Con este tratamiento, el espesor del afirmado fue de 16 cm, lo que representa una reducción de aproximadamente de 11 cm.



RECOMENDACIONES

General, se sugiere considerar la utilización de ceniza inorgánica proveniente de la cáscara de cebada como un estabilizante alternativo en suelos de subrasante con baja capacidad portante, ya que su aplicación ha demostrado mejorar significativamente el valor del CBR y reducir el espesor del afirmado requerido.

Primero, se recomienda considerar el uso de la ceniza inorgánica que proviene de la cascara de cebada como material estabilizador de suelos en proyectos de infraestructura vial. Es crucial realizar pruebas de CBR a diferentes concentraciones de ceniza para evaluar su impacto en la resistencia del suelo y en la reducción del espesor del afirmado.

Segundo, se recomienda considerar la sostenibilidad y los costos dentro de sus investigaciones. El uso de la ceniza inorgánica (cascara de cebada) no solo representa una alternativa más económica que los materiales convencionales, sino que también contribuye a la reducción de residuos naturales, lo que tiene un impacto positivo en el medio ambiente.

Tercero, se recomienda realizar mediciones en múltiples puntos de control a lo largo de la vía y analizar la variabilidad de los valores obtenidos para obtener una visión precisa del comportamiento del suelo. Además, se debe prestar especial atención al cálculo de los ejes equivalentes, dado que este parámetro es fundamental para determinar el espesor adecuado del afirmado y para lograr un diseño más eficiente.



BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar, A. (2023). *Composición de cenizas de especies vegetales de Tenerife*. Universidad de la Laguna. Obtenido de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/34007/Composicion%20quimica%20de%20cenizas%20de%20especies%20vegetales%20de%20Tenerife.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alegría, E., & Lago, K. (2021). *Mejoramiento de la subrasante adicionando ceniza de cebada para el acceso al vertedero de la Provincia de Andahuaylas Apurímac*. Lima - Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/77445/Alegr%c3%ada_AED-Lago_GKF-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Altamirano, J., & Utani, F. (2022). *Influencia de la adición de cenizas de leño de cipres en la subrasante arcillosa para la carretera Matapuquio - Collpa, Andahuaylas*. Huancayo: Universidad Continental. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/IV_FIN_105_TE_Altamirano_Utani_2023.pdf
- Andaluz, R. (2022). *Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico - mecánicas en suelos finos de subrasante*. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de <file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Tesis%20I.C.%201556%20-%20Andaluz%20L%C3%B3pez%20Ronnie%20Steven.pdf>
- Camelo, A., & Gonzáles, H. (2021). *Propiedades resilientes de subrasantes granulares estabilizadas con ceniza volante para diseño de pavimentos*. Colombia: Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/cdc6582f-9345-4581-b324-ee1d2fada0c5/content>



- Canaza, A. (2023). *Materiales de construcción de carreteras: tipos y usos*. Obtenido de https://www-fluidconstructions-com.translate.google.com/construction/road-construction-materials-types-and-uses/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge#:~:text=Los%20materiales%20m%C3%A1s%20comunes%20incluyen,la%20calidad%20de%20las%20carreteras.
- Creswell, J. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Sage Publications. Obtenido de https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf
- Cuadros, C. (2017). *Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial del departamento de la región Junín*. Huancayo: Universidad Peruana los Andes. Obtenido de <https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/297/Cadros%20Suri%20chaqui%20Claudia%20Maria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Curasma, W. (2021). *Estabilización de subrasantes blandas con insumos inorgánicos, avenida integración este - Torre Torre, Huancayo*. Huancayo: Universidad Continental. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/IV_FIN_105_TE_Curasma_Mayta_2021.pdf
- Figuroa, I., & Mamani, C. (2019). *Diseño de carreteras afirmadas en base a escorias negras, provenientes de la planta de aceros Arequipa de Pisco, para zonas rurales*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Mamani_CQ.pdf
- Gutiérrez, M. (2017). *Gestión de carreteras no pavimentadas*. Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de https://oa.upm.es/52693/1/TFM_MARCO_ANTONIO_GUTIERREZ_SOTO.pdf
- Hernandez & Baptista. (2014). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill. Mexico. Obtenido de <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>



- Huancoillo, Y. (2018). *Mejoramiento de suelo arcilloso con ceniza volante y cal para su uso como pavimento a nivel de afirmado en la carretera desvío Huancané - Chupa*. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Huancoillo_Humpiri_Yunior_Jos%C3%A9.pdf
- Khan, J. (2015). *Importancia de la preparación del suelo de subrasante para carreteras*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/importance-sub-grade-preparation-highways-roads-jahangir-khan>
- Kumar, R. (2019). *Research Methodology*. SAGE. Obtenido de http://www.sociology.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/06/Ranjit_Kumar-Research_Methodology_A_Step-by-Step_G.pdf
- Márquez, M. (2014). *Cenizas y Grasas*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e8bd5b97-f205-4b7e-bcd6-b34d7ab4fbe2/content#:~:text=%E2%9E%A2%20EI%20t%C3%A9rmino%20%22cenizas%20de,esta%20temperatura%20se%20denomina%20ceniza>.
- Mendoza, F. (2024). *Ventajas y desventajas del asfalto en caliente comparado con otros materiales*. Obtenido de <https://asfaltofarvias.com/ventajas-y-desventajas-del-asfalto-en-caliente-comparado-con-otros-materiales/>
- Núñez, M. (2020). *Carretera: afirmada, sin afirmar, pavimentada, no pavimentada y trocha carrozable – Definiciones*. Obtenido de <https://gestiondeobraspublicas.com/carretera-afirmada-sin-afirmar-pavimentada-no-pavimentada-y-trocha-carrozable-definiciones/>
- Ponce, M. (2019). *Subrasante*. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/pdfcoffee.com_subrasante-definicion-4-pdf-free.pdf
- Torres, S., & Landa, J. (2020). *Mejoramiento de suelos arcillosos en subrasante mediante el uso de cenizas volantes de bagazo de caña de azúcar y cal en el tramo de la carretera Tingo María - Monzón en la provincia de Leoncio Prado*. Lima - Perú:



- Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Torres_MS%20(1).pdf
- Urbano, K., & Vargas, M. (2019). *El estado de condición de una carretera no pavimentada y los tipos de intervención, aplicando MTC, URCl*. Lima: Universidad Ricardo Palma. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/T030-46760960-T.pdf
- Vargas, Y., Gutierrez, Y., & Rojas, J. (2020). *Estabilización de afirmado con ceniza proveniente de desechos de cascarilla de café para aplicar en suelos de construcción de vías*. Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/e811ce6e-5fcb-41f6-9f8b-84231d7821dc/content>
- Vigil, C. (2019). *Evaluación de la capacidad portante de los suelos para cimentaciones superficiales de la zona urbana de la localidad de Caspizapa, provincia de Picota, región San Martín*. Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín. Obtenido de <https://repositorio.unsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/b9ab7ceb-03c2-4959-8684-41cbd3d8158b/content>
- Vilca, N. (2023). *Ceniza de madera*. Obtenido de <https://www.fecoagro.com.ar/ceniza-de-madera-un-tesoro-para-tu-huerto/>



ANEXOS



Anexo. Matriz de Consistencia

EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA – ESCALLANI 2024				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p>Problema General:</p> <p>¿Cuál es el efecto de la aplicación de cenizas inorgánicas sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su incidencia en el diseño de espesor de afirmado de la carretera Juliaca - Escallani 2024?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Analizar el efecto de la aplicación de cenizas inorgánicas sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su incidencia en el diseño de espesor de afirmado de la carretera Juliaca - Escallani 2024.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>El efecto de la aplicación de cenizas inorgánicas ayudará al incremento de la capacidad de soporte de la subrasante y su incidencia en el diseño de espesor de afirmado de la carretera Juliaca - Escallani 2024, será significativa.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>CENIZAS INORGÁNICAS</p> <p>Dimensiones: Proporciones de: M+5.5% CI M+7.0% CI M+8.5% CI</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>CAPACIDAD RELATIVA DE SOPORTE DEL SUELO DE SUBRASANTE</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • CBR • IMDA 	<p>Fichas y Herramientas</p> <p>Equipos y herramienta de Laboratorio.</p>
<p>Problemas Específicos</p> <p>¿Cuál es la capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante y el afirmado existente en la carretera Juliaca - Escallani 2024?</p> <p>¿Cuál es la incidencia de la adición de cenizas inorgánicas en cantidades variables sobre la capacidad relativa de soporte de la subrasante en la carretera Juliaca - Escallani 2024?</p> <p>¿Cuál es el espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante y la consideración de los ejes equivalentes actuales de la carretera Juliaca - Escallani 2024?</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <p>Determinar la capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante y el afirmado existente en la carretera Juliaca - Escallani 2024.</p> <p>Evaluar la incidencia de la adición de cenizas inorgánicas en cantidades variables sobre la capacidad relativa de soporte de la subrasante en la carretera Juliaca - Escallani 2024.</p> <p>Determinar el espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante y la consideración de los ejes equivalentes actuales de la carretera Juliaca - Escallani 2024.</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>La capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante y el afirmado existente en la carretera Juliaca - Escallani 2024, estará por debajo de las especificaciones mínimas de calidad, requiriendo estabilización.</p> <p>La incidencia de la adición de cenizas inorgánicas en cantidades variables incrementará la capacidad relativa de soporte de la subrasante en la carretera Juliaca - Escallani 2024.</p> <p>El espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante y la consideración de los ejes equivalentes actuales de la carretera Juliaca - Escallani 2024, estará por debajo 15 cm que es lo recomendado.</p>		

Anexo B. Panel fotográfico

Fotografía N° 01: Pesado de la muestra para tamizado



Fotografía N° 02: Clasificación de muestras retenidas



Fotografía N° 03: Prueba de limite plástico



Fotografía N° 04: Pesado de muestra de límite líquido



Fotografía N° 05: Clasificación de muestras de límite líquido y plástico



Fotografía N° 06: Pesado de muestra de límite plástico



Fotografía N° 07: Secado de la muestra



Fotografía N° 08: Pesado de la muestra para Proctor modificado



Fotografía N° 09: Pesado del agua para humedecer la muestra



Fotografía N° 10: Combinación del agua con la muestra



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



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



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



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



Fotografía N° 15: Apisonado del material del Proctor modificado



Fotografía N° 16: Extracción de muestra representativa de la parte superior de la muestra compactada del ensayo Proctor



Fotografía N° 17: Pesaje de molde + muestra del ensayo Proctor modificado



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



Fotografía N° 19: Equipos para el ensayo CBR



Fotografía N° 20: Colocación de base de molde para el CBR



Fotografía N° 21: Colocación de vástago de CBR para medición de expansión y penetración





UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR 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

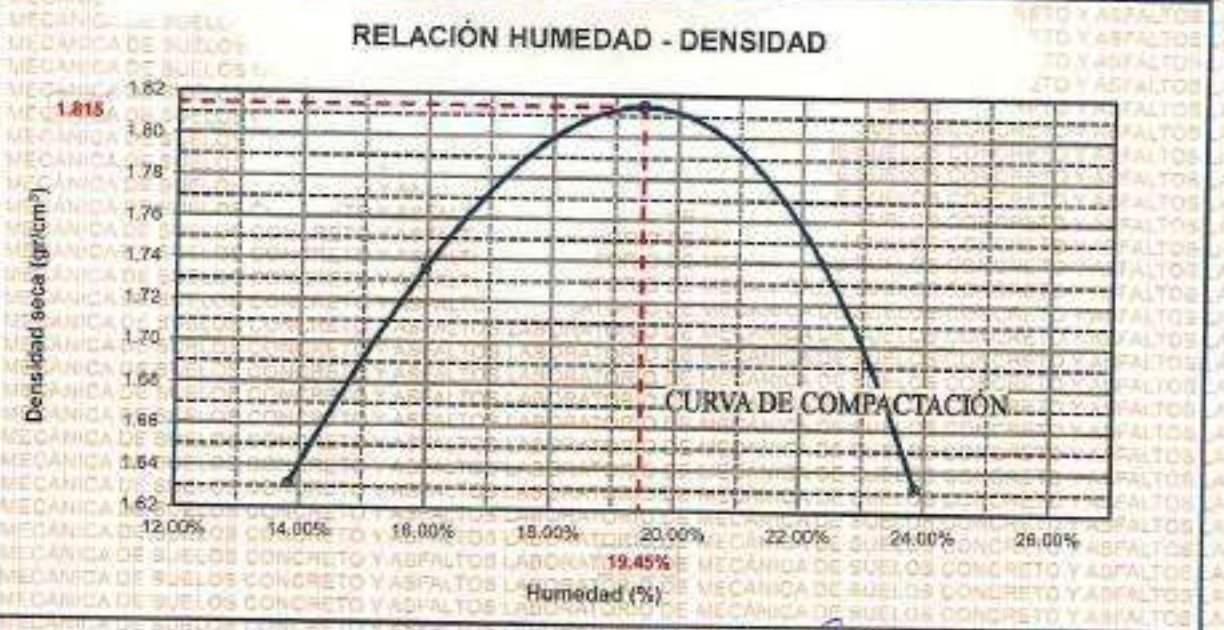
TEBIS:	EFEECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024
SOLICITANTE	Bach. ELOY KÓQUI CONDORI SUCASAIRE
UBICACIÓN	CARRETERA JULIACA - ESCALLANI
PROGRESIVA	KM 3+000 +3+200
MUESTRA	CALICATA 1 - MUESTRA 1 + CENIZAS INORGÁNICAS 5.8%
FECHA	12 DE AGOSTO DEL 2024

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	635 cm ³
No de CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	6042	6085	6034	5886
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gramos	1891	1934	1883	1737
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	2.021	2.067	2.013	1.867

Capcula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	306.02	307.70	190.62	187.67	227.58	224.51	221.49	225.66
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	259.47	263.31	186.86	189.60	195.13	193.17	198.29	205.35
Peso del Agua	gr.	46.55	44.45	30.07	27.88	26.45	25.34	23.20	22.53
Peso de la Capsula	gr.	70.23	70.96	36.45	39.04	35.07	35.01	35.87	34.82
Peso del Suelo Seco	gr.	189.24	192.35	129.40	129.05	160.06	164.16	162.42	168.51
% de Humedad	%	24.60%	23.11%	23.42%	23.72%	16.53%	15.44%	14.38%	13.37%
Promedio de Humedad	%	23.84%		23.32%		15.96%		13.83%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.632		1.676		1.736		1.631	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.816 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	19.45%



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

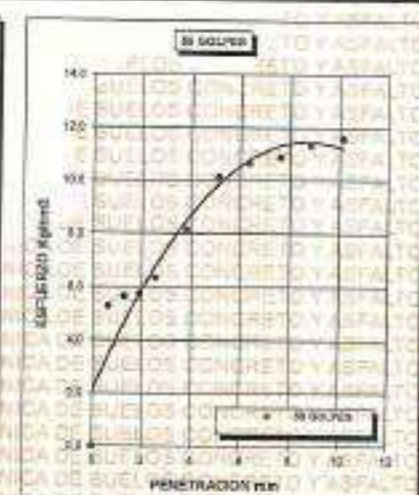
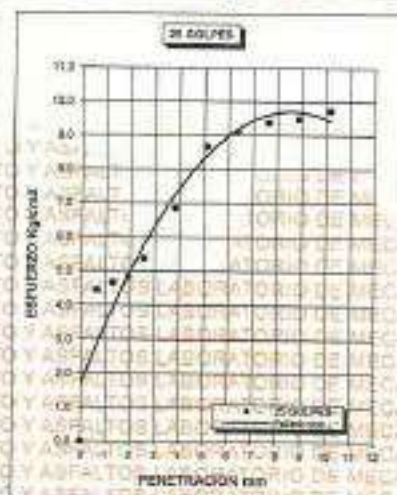
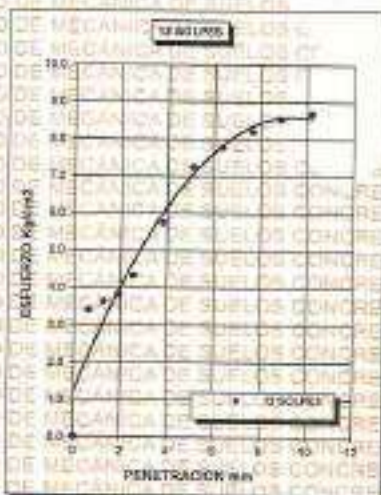
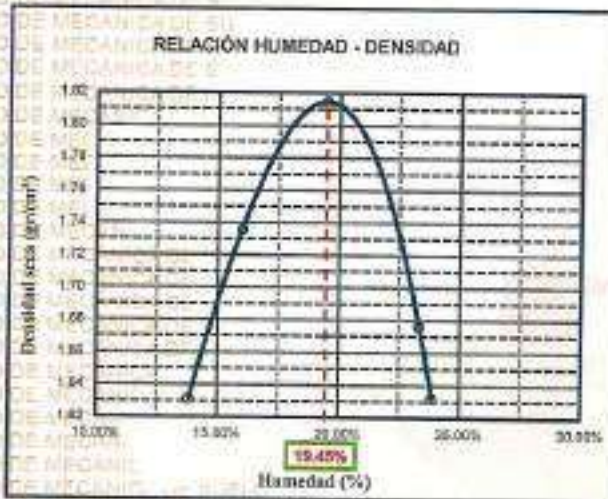
[Firma]
Néstor Arce Yana Torres
CIP/103257



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



PROYECTO :	EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach. ELOY KOGUI CONDORI SUCASAIRE	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1.815
UBICACIÓN :	CARRETERA JULIACA - ESCALLANI	HUMEDAD OPTIMA (%) 19.45%
PROGRESIVA :	KM 3+000 - 3+200	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 8.83
MUESTRA :	CALICATA 1 - MUESTRA 1 + CENIZAS INORGÁNICAS 5.5%	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 7.68
FECHA :	12 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
 VICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Msc. Aracely Yana Torres
 CIP 100252



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

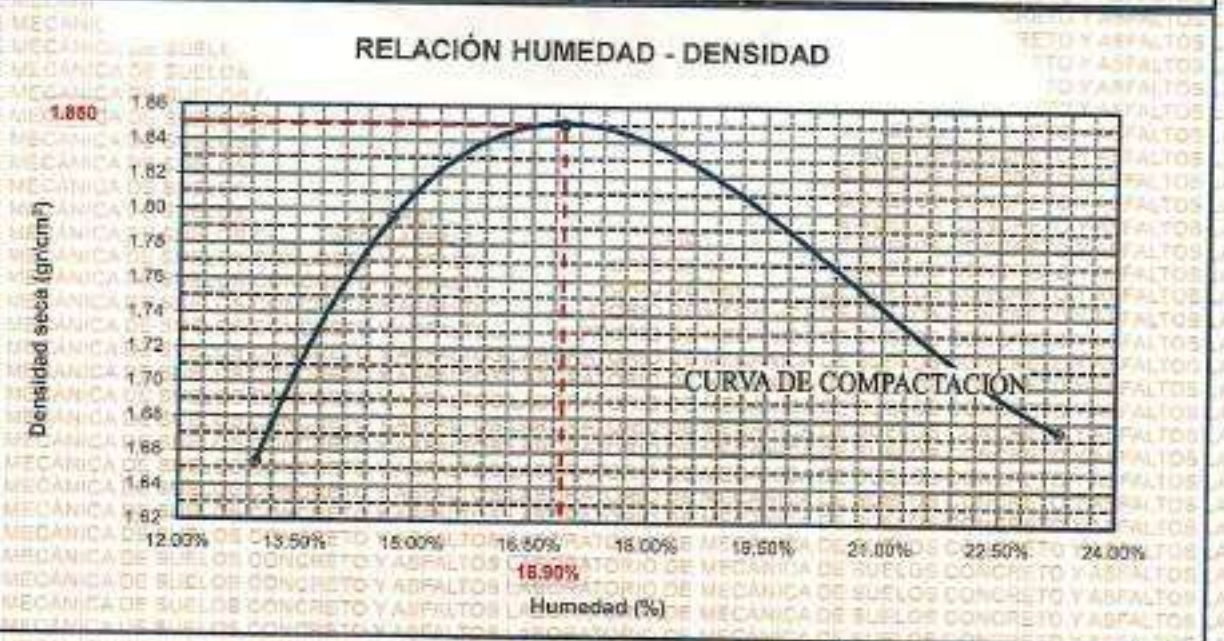
TESIS	Efecto de la aplicación de cenizas inorgánicas sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su incidencia en el diseño de espesor de afirmado de la carretera Juliaca - Escallani 2024
SOLICITANTE	Bach. ELOY KOQUI CONDORI SUCASARE
UBICACIÓN	CARRETERA JULIACA - ESCALLANI
PROGRESIVA	KM 3+200 - 3+400
MUESTRA	CALICATA 2 - MUESTRA 2 + CENIZAS INORGÁNICAS 6.0%
FECHA	12 DE AGOSTO DEL 2024

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	935 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	26 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	6062	6097	6078	5999
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1931	1946	1927	1748
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	2.084	2.080	2.080	1.850

Capítulo No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capasula	gr.	304.25	307.21	196.32	197.52	219.01	225.63	221.32	225.35
Peso del Suelo Seco + Capasula	gr.	258.22	254.47	167.25	160.24	196.32	200.25	199.25	204.21
Peso de la Capasula	gr.	46.03	42.74	29.07	37.28	22.69	25.38	22.07	21.14
Peso del Suelo Seco	gr.	70.15	70.99	38.46	39.97	35.00	30.02	35.88	34.64
% de Humedad	%	34.47%	22.06%	21.50%	22.77%	14.07%	15.36%	13.61%	12.48%
Promedio de Humedad	%	23.28%		22.28%		14.72%		13.00%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.674		1.701		1.786		1.654	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.850 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	16.9%



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

[Firma]
Mtr. Arnoldo Yasa Torres

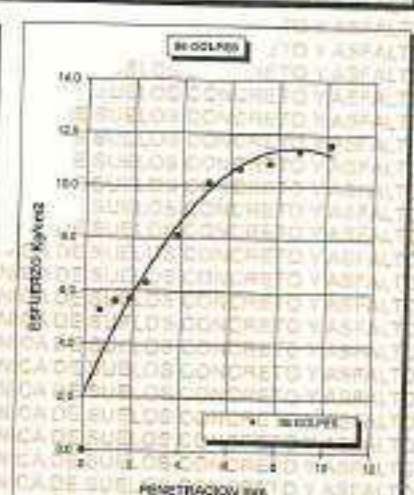
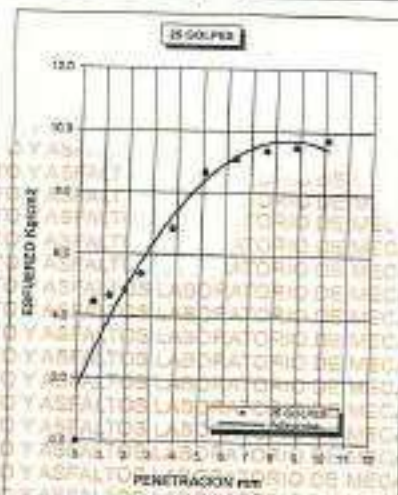
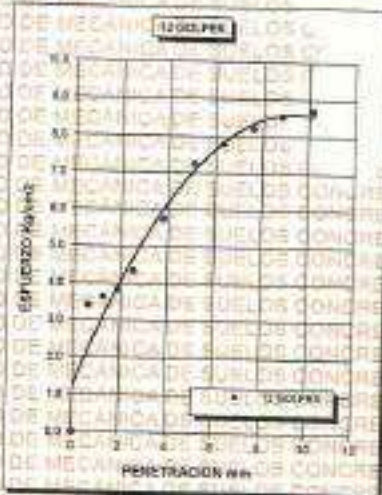
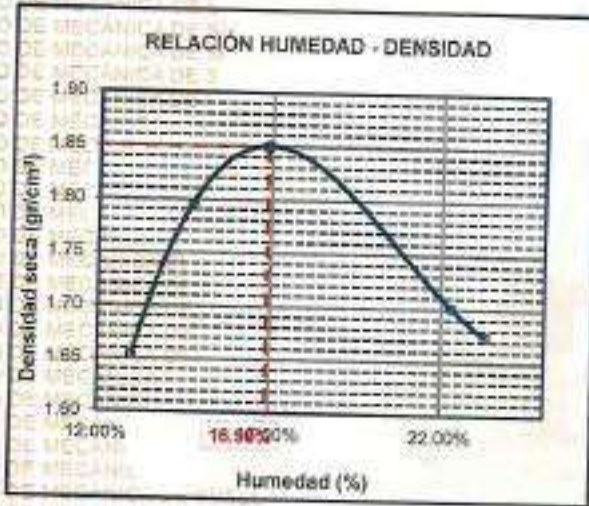
LABORATORIO M.S.C.A. MEZCLAS



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



PROYECTO : Efecto de la aplicación de cenizas inorgánicas sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su incidencia en el diseño de espesor de afirmado de la carretera Juliaca - Escallani	METODO DE COMPACTACIÓN : ASTM D1557-91
SOLICITADO : Bach. ELOY KOGUI CONDORI SUCASAIRE	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) : 1.850
UBICACIÓN : CARRETERA JULIACA - ESCALLANI	HUMEDAD OPTIMA (%) : 16.9%
PROGRESIVA : KM 3+200 - 3+400	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) : 10.31
MUESTRA : CALICATA 2 - MUESTRA 2 + CENIZAS INORGANICAS 5.5%	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) : 6.82
FECHA : 12 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
	AASHTO : A-2
	EMBEBIDO : 4 DIAS



INVESTIGACION EN INGENIERIA CIVIL
 Mtro. Arnoldo Yasa Torres
 CIP 105257



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

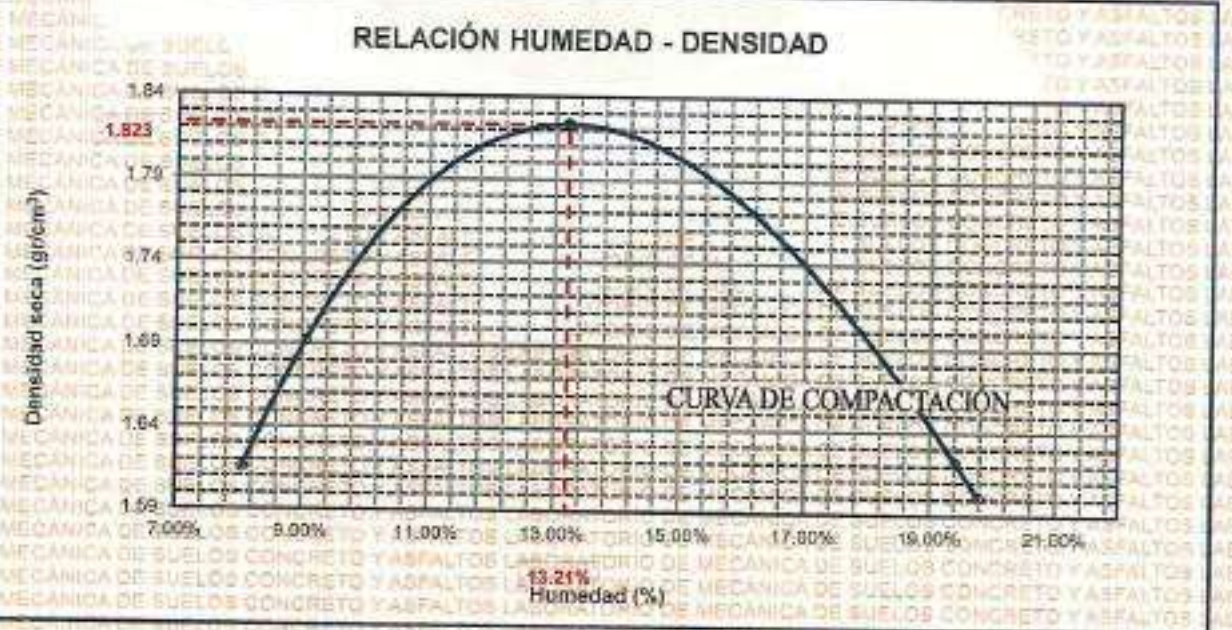
TESIS	EFFECTO DE LA APLICACION DE CENIZAS INORGANICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024
SOLICITANTE	Bach. ELDY MOQUI CONDORI SUCASAIRE
UBICACIÓN	CARRETERA JULIACA - ESCALLANI
PROGRESIVA	KM 3+400 - 3+600
MUESTRA	CALICATA 3 - MUESTRA 3 + CENIZAS INORGANICAS 9.5%
FECHA	12 DE AGOSTO DEL 2024

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	935 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5953	5845	5877	5784
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1812	1794	1726	1633
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.937	1.918	1.845	1.745

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	292.15	272.43	223.55	211.04	197.35	172.12	200.90	180.21
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	294.71	233.11	194.33	180.39	157.35	159.78	180.79	178.81
Peso del Agua	gr.	35.47	33.32	28.23	31.65	40.05	12.34	12.11	11.40
Peso de la Capsula	gr.	70.11	83.15	35.09	35.91	35.12	35.05	58.79	37.49
Peso del Suelo Seco	gr.	184.80	169.95	159.24	144.48	122.18	124.73	150.00	141.31
W de Humedad	%	19.21%	19.90%	17.73%	21.84%	8.23%	9.89%	8.07%	8.05%
Promedio de Humedad	%	19.41%		19.78%		9.05%		8.07%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.622		1.601		1.632		1.515	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.823 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	13.21%



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
 VICI - CAR. INGENIERÍA CIVIL

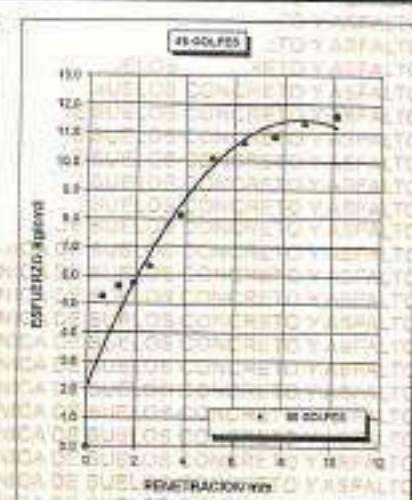
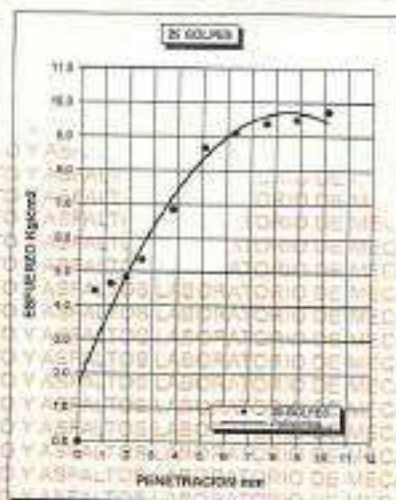
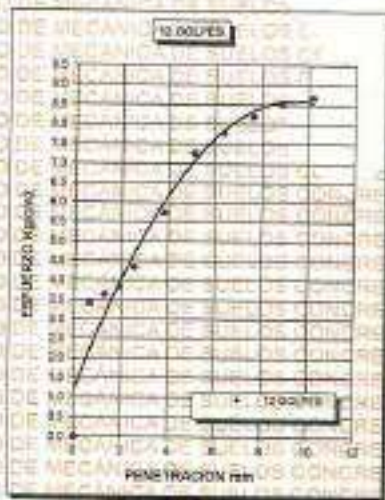
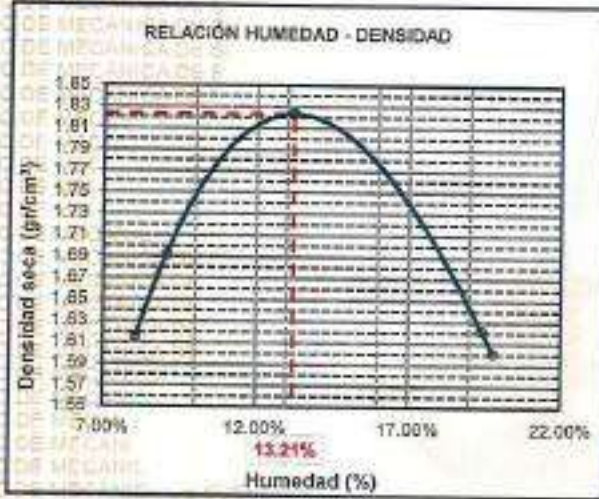
[Firma]
 Dr. Arnaldo Yana Torres



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



PROYECTO :	EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE ARRIBADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach. ELOY KOOUE CONDORI SUCASAIRE	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1.823
UBICACIÓN :	CARRETERA JULIACA - ESCALLANI	HUMEDAD OPTIMA (%) 13.21%
PROGRESIVA :	KM 3+400 - 3+600	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 8.79
MUESTRA :	CALICATA 3 - MUESTRA 3 + CENIZAS INORGÁNICAS 5.6%	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 7.53
FECHA :	12 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 T.C.P. - CAR. INGENIERIA CIVIL
 M.Sc. JELIZO
 Mgr. Arístides Torres
 D.N. 103257



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



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

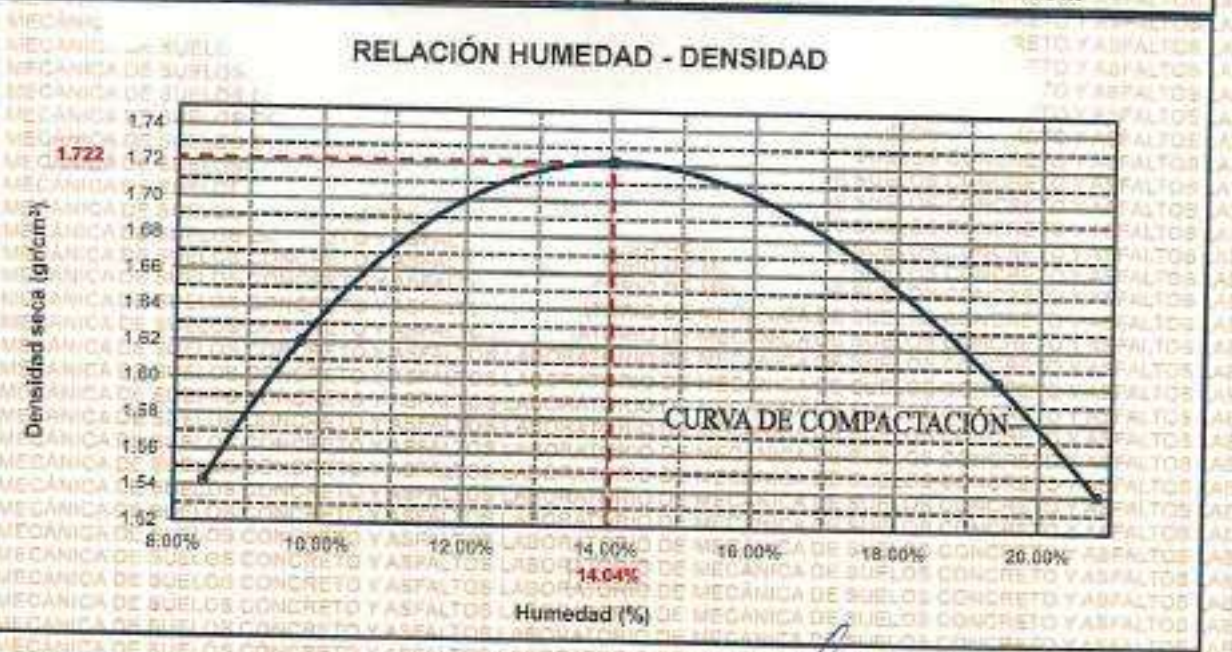
TESIS	1. EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024.
SOLICITANTE	1. Bach. ELOY KOKU CONDORI SUCASAIRE
UBICACIÓN	1. CARRETERA JULIACA - ESCALLANI
PROGRESIVA	1. KM 3+000 - 3+200
MUESTRA	1. DALICATA 1- MUESTRA 1 + CENIZAS INORGÁNICAS 7.0%
FECHA	1. 12 DE AGOSTO DEL 2024.

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	935 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5892	5941	5814	5715
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1741	1790	1663	1564
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.861	1.914	1.778	1.672

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	287.14	288.00	207.78	206.48	185.41	188.15	201.04	191.45
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	248.71	234.11	178.31	161.95	153.92	158.35	190.00	178.50
Peso del Agua	gr.	37.43	33.89	29.47	35.12	11.49	11.80	12.62	12.11
Peso de la Capsula	gr.	70.12	70.97	38.38	39.82	35.05	35.81	35.86	34.80
Peso del Suelo Seco	gr.	178.59	163.14	139.93	141.44	118.88	120.54	153.16	144.55
% de Humedad	%	20.84%	20.79%	21.06%	17.76%	9.67%	9.79%	8.44%	8.38%
Promedio de Humedad	%	20.82%		19.41%		9.73%		8.41%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.540		1.602		1.620		1.542	

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



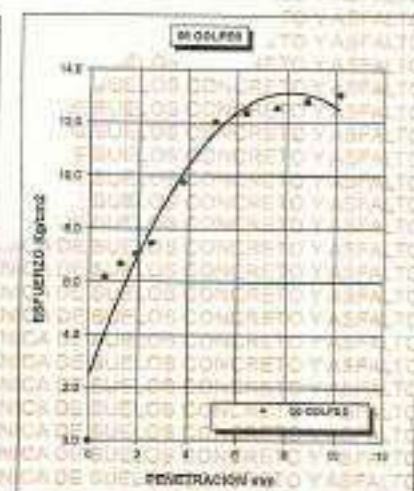
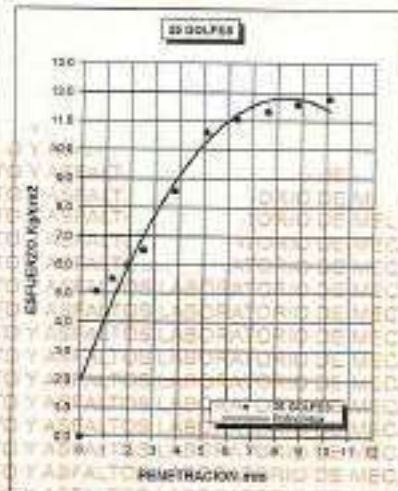
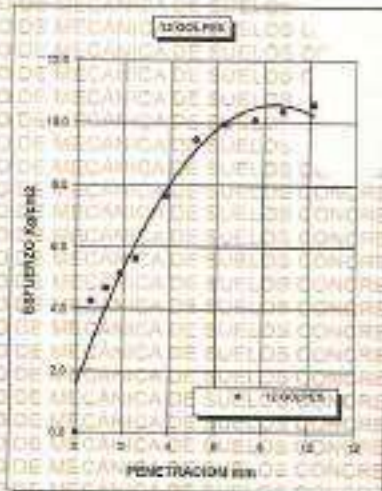
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
 EICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL
 Lic. Alfredo Lara Torres
 CIP/103387



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



PROYECTO : EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO : Bach. ELOY KOOUI CONDORI SUCASAIRE	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1.722 HUMEDAD OPTIMA (%) 14.04% CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 10.29 CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 9.06
UBICACION : CARRETERA JULIACA - ESCALLANI	CLASIFICACIÓN : CL AASHTO : A-2
PROGRESIVA : KM 3+000 - 3+200	EMBEBIDO : 4 DIAS
MUESTRA : CALICATA 1 - MUESTRA 1 + CENIZAS INORGÁNICAS 7.0%	
FECHA : 12 DE AGOSTO DEL 2024	



CBR 8.02

CBR 9.26

CBR 10.63



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



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



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

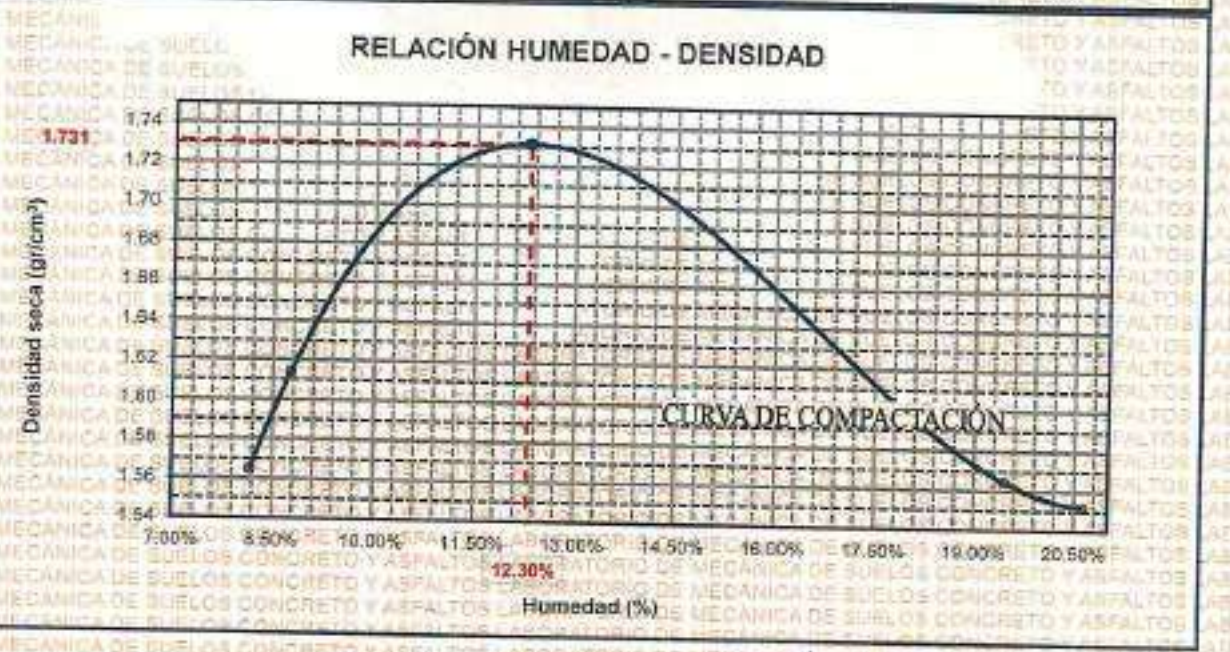
TESIS	Efecto de la aplicación de cenizas inorgánicas sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su incidencia en el diseño de espesor de afirmado de la Carretera Juliaca - Escallani 2024
SOLICITANTE	Bach. ELOY KOKUI CONDORI SUCASARE
UBICACIÓN	CARRETERA JULIACA - ESCALLANI
PROGRESIVA	KM 3+200 - 3+400
MUESTRA	CALICATA 2 - MUESTRA 2 + CENIZAS INORGÁNICAS 7.0%
FECHA	12 DE AGOSTO DEL 2024

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

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr	5902	5869	5793	5734
Peso del Molde	gr	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1751	1748	1642	1583
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.872	1.889	1.755	1.692

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr	288.36	271.35	205.57	208.31	195.24	189.98	203.09	193.30
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr	251.73	237.54	179.31	181.09	155.77	158.29	191.04	181.37
Peso del Agua	gr	37.89	33.78	26.26	28.22	9.47	11.69	12.05	11.93
Peso de la Capsula	gr	71.32	71.97	39.44	40.92	36.95	36.87	36.66	36.80
Peso del Suelo Seco	gr	180.61	165.87	139.87	140.17	119.71	121.42	154.10	145.57
% de Humedad	%	20.93%	20.41%	18.77%	20.13%	7.61%	9.63%	8.14%	8.20%
Promedio de Humedad	%	20.62%		19.45%		8.77%		8.17%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.552		1.564		1.614		1.584	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.731 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	12.3%



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

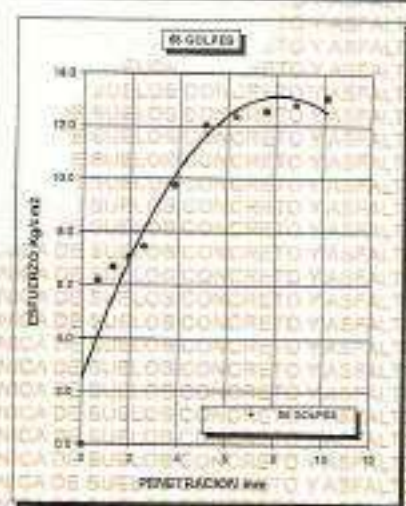
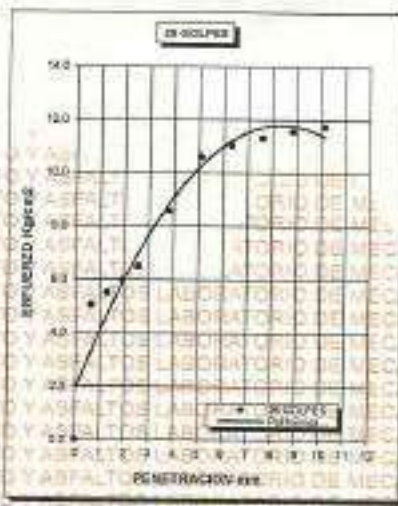
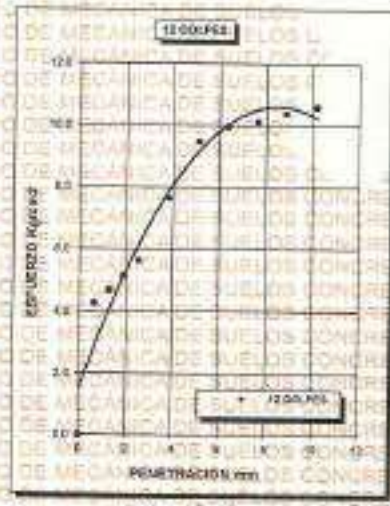
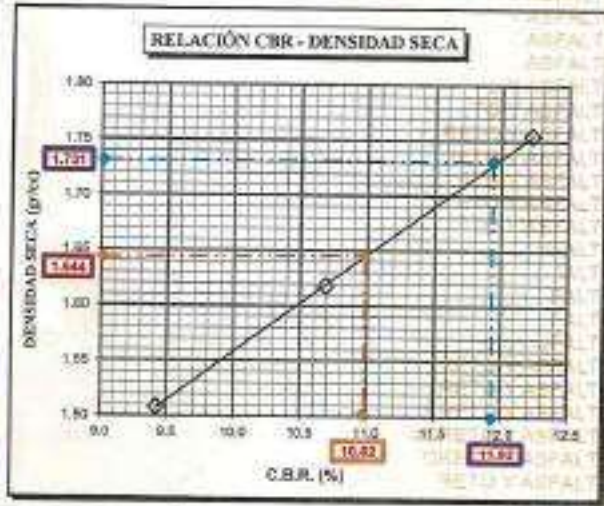
[Firma]
Mtro. Arnoldo Yano Torres



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



PROYECTO : EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024	MÉTODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-81	
SOLICITADO : Bach. ELOY KOQUI CONDORI SUCASARE	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.731
UBICACIÓN : CARRETERA JULIACA - ESCALLANI	HUMEDAD OPTIMA (%)	12.3%
PROGRESIVA : KM 3+200 - 3+400	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	11.92
MUESTRA : CALICATA 2 - MUESTRA 2 + CENZAS INORGÁNICAS 7.0%	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	10.98
FECHA : 12 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN :	CL
	AASHTO :	A-2
	EMBEBIDO :	4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
Msc. *Agustín Lora Jorjés*
CIP. 40325



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR 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

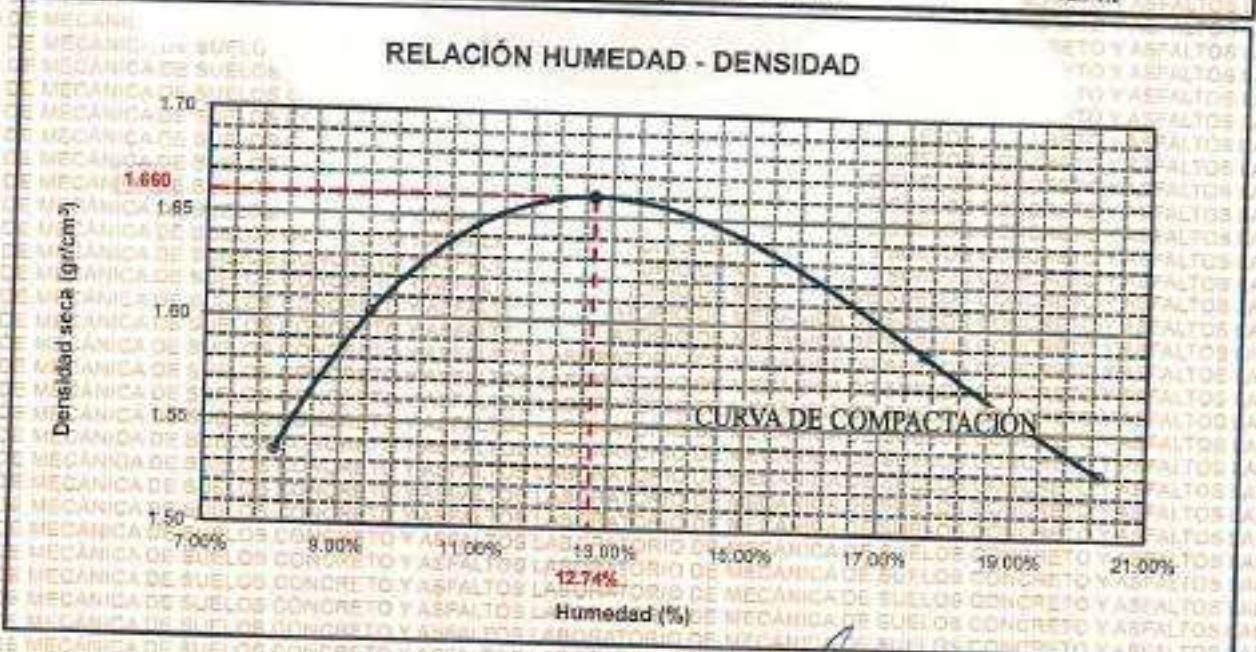
TEBIS	EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMACO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024
SOLICITANTE	Bach. ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE
UBICACIÓN	CARRETERA JULIACA - ESCALLANI
PROGRESIVA	KM 3+400 - 3+600
MUESTRA	CALICATA 3 - MUESTRA 3 + CENIZAS INORGÁNICAS 0.5%
FECHA	12 DE AGOSTO DEL 2024

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	995 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5874	5868	5782	5703
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1723	1747	1641	1552
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.842	1.868	1.754	1.659

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	290.34	270.34	204.38	208.09	168.22	170.95	204.06	194.28
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	282.71	237.11	180.25	182.01	156.75	159.27	192.82	182.35
Peso del Agua	gr.	37.63	33.23	24.13	26.08	11.47	11.68	12.24	11.93
Peso de la Capsula	gr.	75.12	70.07	38.44	39.92	35.08	36.87	35.86	34.80
Peso del Suelo Seco	gr.	182.59	166.14	141.81	142.09	121.69	123.40	156.16	147.55
% de Humedad	%	20.61%	20.00%	17.02%	18.35%	9.43%	9.47%	8.05%	8.09%
Promedio de Humedad	%	20.31%		17.89%		9.45%		8.06%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.531		1.587		1.603		1.536	

METODO:	ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.660 gr/cm ³
		HUMEDAD OPTIMA	12.74%



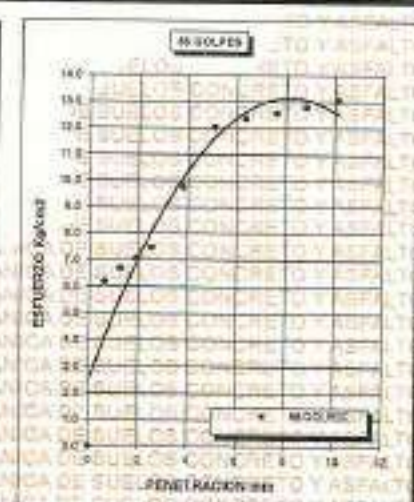
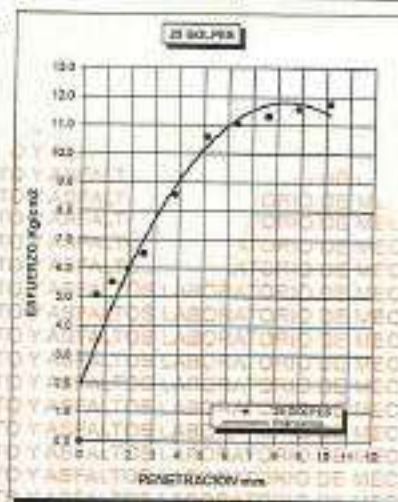
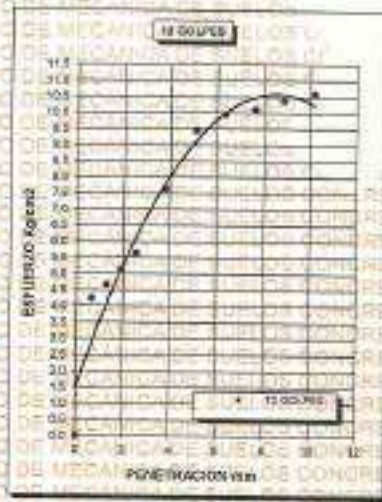
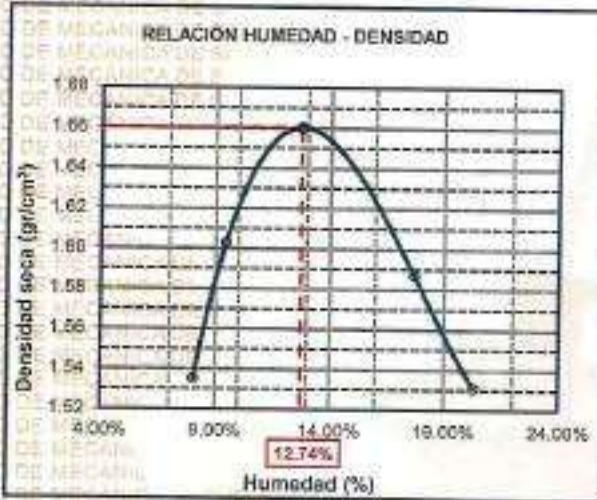
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
M.S.C.A. JEFATUZA
Dr. Arnaldo Yano Torres
C.I.P. 103287



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



PROYECTO :	EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADE DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO :	Bach. ELOY KDOQUI CONDORI SUCASAIRE	MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	1.660
UBICACIÓN :	CARRETERA JULIACA - ESCALLANI	HUMEDAD OPTIMA (%)	12.74%
PROGRESIVA :	KM 3+400 - 3+600	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	11.04
MUESTRA :	CALICATA 3 - MUESTRA 3 - CENIZAS INORGÁNICAS 8.6%	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	9.72
FECHA :	12 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
JULIACA

Ing. Anselmo Yane Torres
CIP: 10802



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

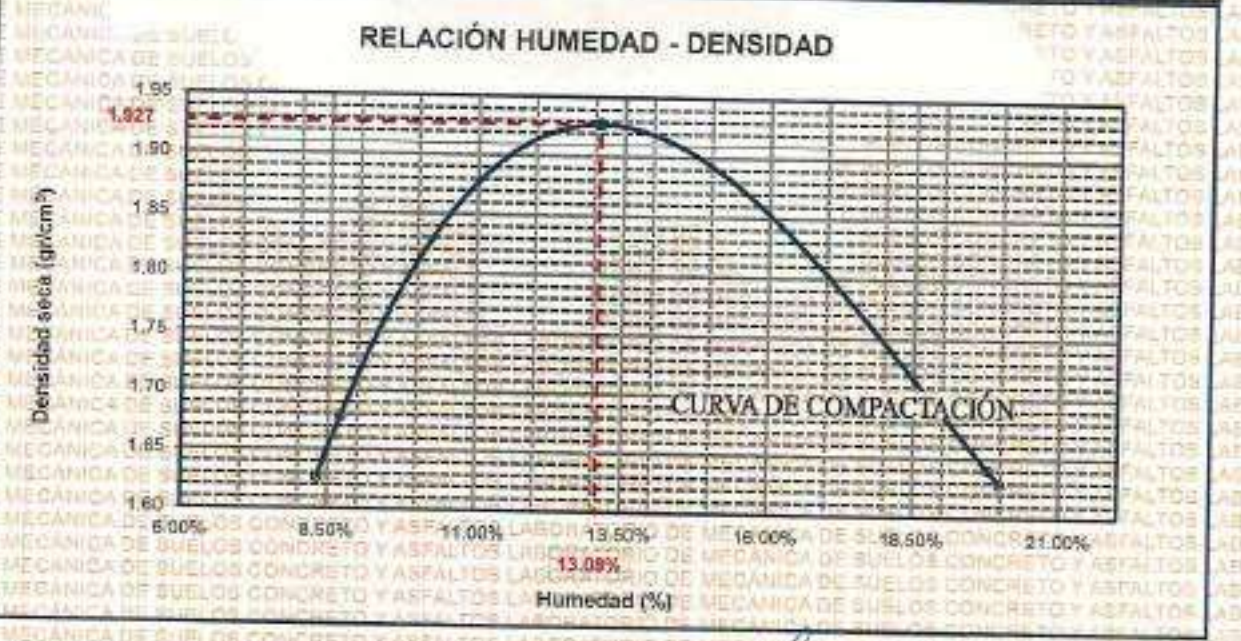
TESIS	EFEECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMACO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024
SOLICITANTE	Baez, ELOY KOKUI CONDORI SUCASAIRE
LUBICACIÓN	CARRETERA JULIACA - ESCALLANI
PROGRESIVA	KM 3+000 - 3+200
MUESTRA	CALICATA 1 - MUESTRA 1 + CENIZAS INORGÁNICAS 8.5%
FECHA	12 DE AGOSTO DEL 2024

MOLDE No	:	1	VOLUMEN DEL MOLDE	:	935 cm ³
No DE CAPAS	:	5	GOLPES POR CAPA	:	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5979	5988	5958	5788
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1828	1838	1707	1638
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.954	1.965	1.825	1.762

Capas No	No	SUP.		INF.		SUP.		INF.	
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Suelo Húmedo + Capsula		253.34	259.44	227.95	212.29	258.30	172.44	201.95	191.79
Peso del Suelo Seco + Capsula		253.63	238.11	198.09	181.36	258.25	160.77	189.77	179.59
Peso del Agua	gr.	39.41	21.33	29.86	30.93	10.04	11.67	12.18	12.20
Peso de la Capsula	gr.	75.12	69.14	35.05	35.82	35.09	35.06	38.79	37.41
Peso del Suelo Seco	gr.	183.61	169.07	163.01	145.47	123.17	125.72	150.98	142.18
% de Humedad	%	21.44%	18.54%	18.32%	21.29%	8.16%	9.28%	8.07%	8.55%
Promedio de Humedad	%	19.99%		19.79%		8.72%		8.32%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.629		1.640		1.578		1.626	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	:	1.927 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	:	13.09%



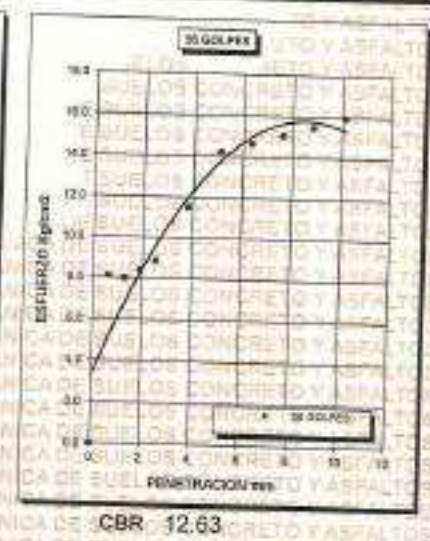
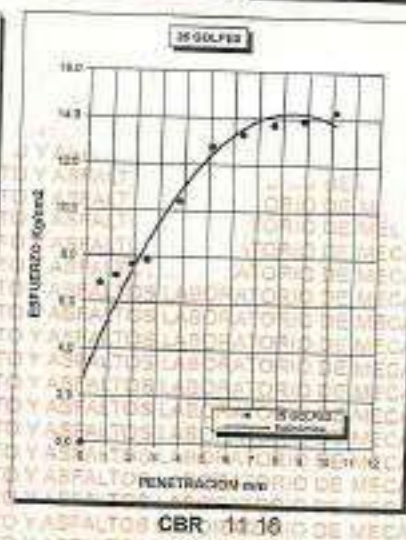
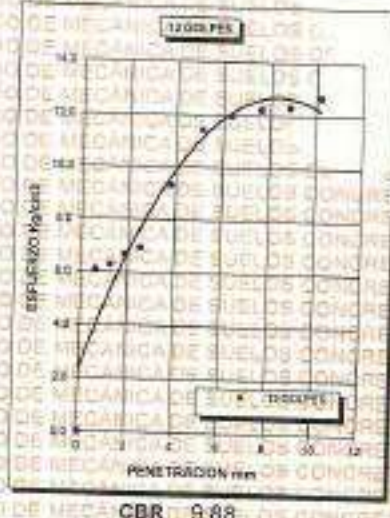
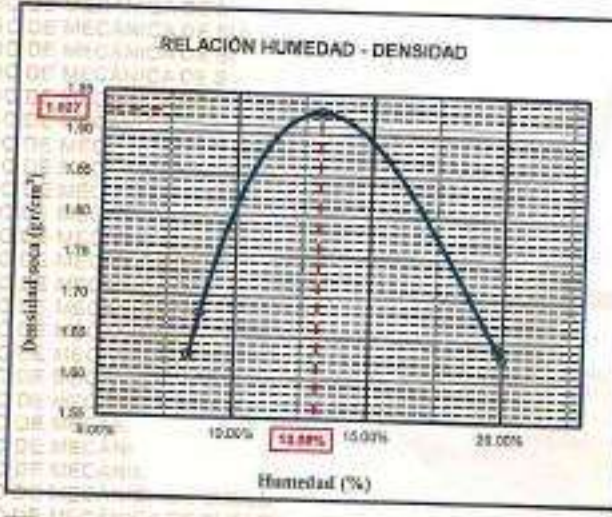
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN
 M.S.S.A. JEFATURA
 Msc. Aragón Yano Torres
 CIP 103207



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



PROYECTO : EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO : Bach. ELOY KQQUI CONDORI SUCASAIRE	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.)	1.927
UBICACIÓN : CARRETERA JULIACA - ESCALLANI	HUMEDAD OPTIMA (%)	13.08%
PROGRESIVA : KM 3+000 - 3+200	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	12.36
MUESTRA : CALICATA 1 - MUESTRA 1 + CENIZAS INORGÁNICAS 8.5%	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	11.10
FECHA : 12 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN :	CL
	AASHTO :	A-2
	EMBEBIDO :	4 DIAS



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

[Signature]
Mgtr. Arnoldo Yana Torres
CIP: 103257



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

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

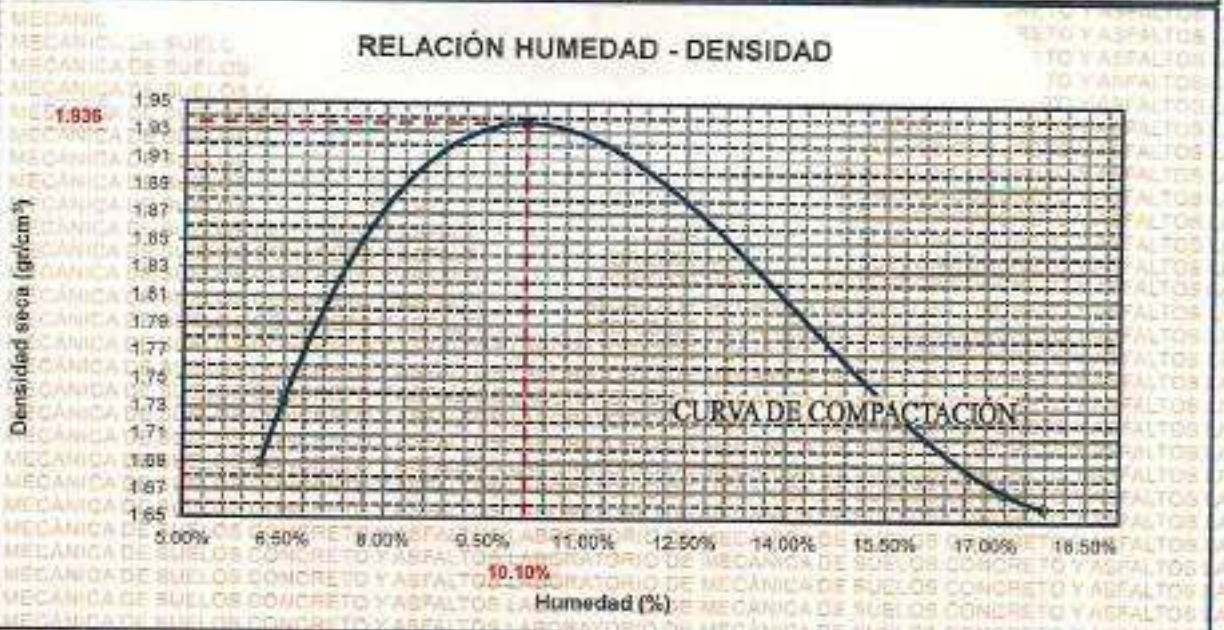
TEMA: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024.
SOLICITANTE: Bach. ELOY KOPIA CONDORI SUCAÑARE
UBICACIÓN: CARRETERA JULIACA - ESCALLANI
PROGRESIVA: KM 3+200 - 3+400
MUESTRA: CALICATA 2 - MUESTRA 2 + CENIZAS INORGÁNICAS 8.5%
FECHA: 12 DE AGOSTO DEL 2024

MOLDE No: 1 **VOLUMEN DEL MOLDE:** 935 cm³
No DE CAPAS: 5 **GOLPES POR CAPA:** 25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5881	5884	5879	5829
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1830	1833	1728	1678
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.968	1.968	1.847	1.794

Capsula No	No	SUP.		INF.		SUP.		INF.	
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Suelo Húmedo + Capsula		285.34	287.44	221.55	227.21	168.20	170.04	109.29	107.18
Peso del Suelo Seco + Capsula		293.93	236.11	199.01	177.45	160.35	159.71	167.77	177.79
Peso del Agua		31.41	31.33	22.54	29.76	6.04	10.33	5.52	9.40
Peso de la Capsula		70.08	68.12	34.06	34.87	34.07	34.03	37.79	39.99
Peso del Suelo Seco		183.85	167.99	164.96	142.58	126.19	125.68	149.98	141.40
% de Humedad	%	17.06%	18.65%	13.95%	20.87%	4.79%	8.22%	5.88%	6.66%
Promedio de Humedad	%	17.67%		17.27%		6.50%		6.18%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.690		1.671		1.734		1.690	

METODO: ASTM D - 1557 **MAXIMA DENSIDAD SECA:** 1.936 gr/cm³
MODIFICADO "C" **HUMEDAD OPTIMA:** 10.10%



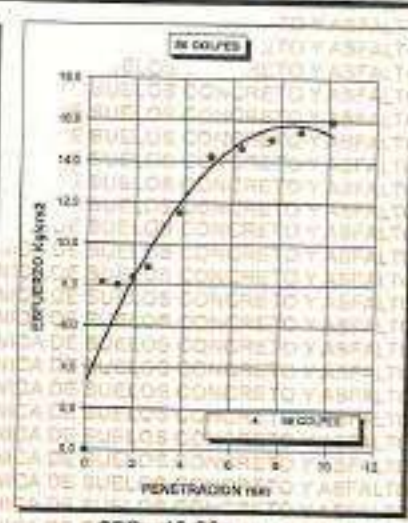
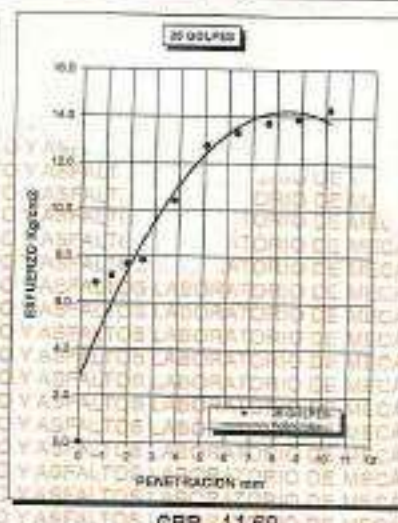
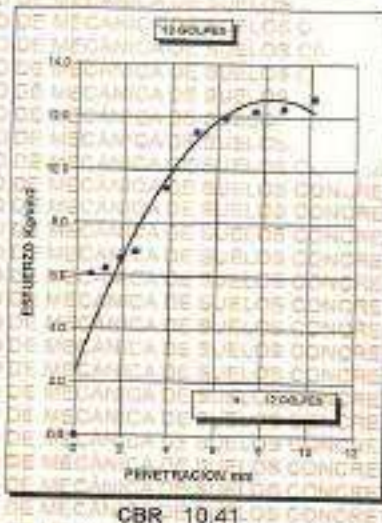
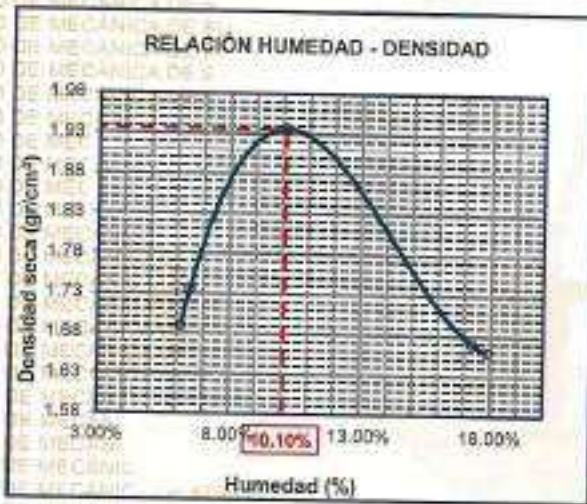
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
FICP - CAR. INGENIERÍA CIVIL
[Firma]
Msc. Arnulfo Yano Torres
CIP. 101257



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



PROYECTO :	EFEECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach. ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE	MAXIMA DENSIDAD SECA [gr/cm³.] 1.936
UBICACIÓN :	CARRETERA JULIACA - ESCALLANI	HUMEDAD OPTIMA (%) 10.10%
PROGRESIVA :	KM 3+200 - 3+400	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 12.62
MUESTRA :	CALICATA 2 - MUESTRA 2 + CENIZAS INORGÁNICAS 8.5%	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 11.44
FECHA :	12 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



INGENIERO ANDRÉS SIVILLANO
TICP - CAP. INGENIERO CIVIL
Néstor Cáceres Velásquez
CIP. 103257



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



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE APÍNDAMO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024.
SOLICITANTE	: Eadi, ELOY KOGUI CONDORI SUCAÑARE
UBICACIÓN	: CARRETERA JULIACA - ESCALLANI
PROGRESIVA	: KM 3+400 - 3+600
MUESTRA	: CALICATA 3 - MUESTRA 3 + CENIZAS INORGÁNICAS 8.8%
FECHA	: 12 DE AGOSTO DEL 2024

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 935 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr	5981	5991	5984	5803
Peso del Molde	gr	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³	1830	1840	1743	1652
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³	1.666	1.967	1.863	1.788

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr	291.01	272.44	285.96	265.41	170.02	173.15	200.99	193.19
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr	291.97	286.27	192.09	176.38	162.25	159.87	167.77	167.79
Peso del Agua	gr	32.04	35.17	33.07	30.05	7.76	13.28	13.12	2.40
Peso de la Capsula	gr	70.12	69.14	39.03	35.89	35.09	35.05	36.90	37.41
Peso del Suelo Seco	gr	181.85	167.13	157.00	140.47	122.17	124.82	148.87	160.38
% de Humedad	%	21.47%	21.64%	21.57%	21.39%	6.10%	10.64%	8.61%	3.95%
Promedio de Humedad	%	21.66%		21.48%		8.37%		6.20%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.609		1.619		1.719		1.643	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.953 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 15.86%



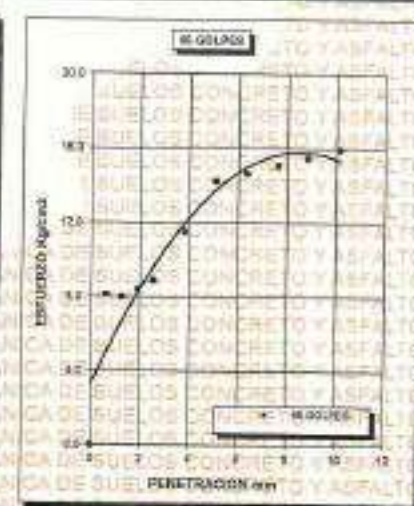
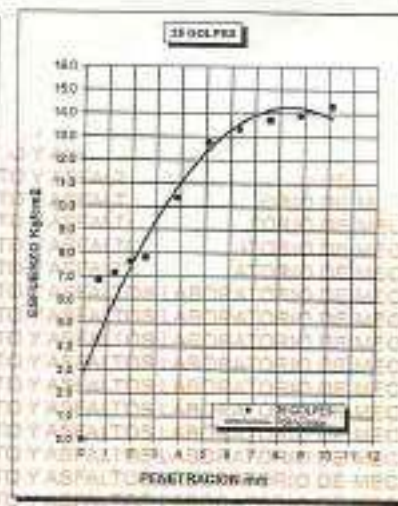
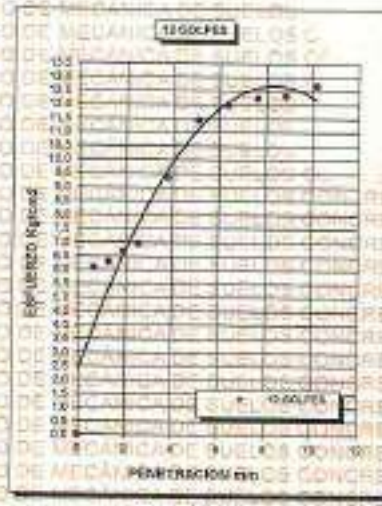
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
 Ing. Arnaldo Yana Torres



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



PROYECTO :	EFEECTO DE LA APLICACIÓN DE CENZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-81
SOLICITADO :	Bach. ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) : 1.953
UBICACIÓN :	CARRETERA JULIACA - ESCALLANI	HUMEDAD OPTIMA (%) : 15.86%
PROGRESIVA :	KM 3+400 - 3+600	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) : 13.01
MUESTRA :	CAUCATA 3 - MUESTRA 3 + CENZAS INORGÁNICAS 8.5%	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) : 11.78
FECHA :	12 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



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

[Firma]
 Ing. Aníbal José Torres
 CIP 104074



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMACO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024

SOLICITANTE : BGR. ELOY KOOUI CONDORI SUCABARE

LUGAR : CARRETERA JULIACA - ESCALLANI

PROGRESIVA : KM 3+000 - 3+200

MUESTRA : CALICATA 1- MUESTRA 1

FECHA : 12 DE AGOSTO DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO:
3"	75.000						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2 1/2"	63.000						P.I.= 2500.00
2"	50.000						P.L.= 701.91
1 1/2"	38.100						P.P.= 1758.09
1"	25.000						s.w.= 8.74
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12.500						L.L.= 22.08
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		L.P.= 9.41
1/4"	6.300						I.P.= 12.87
No4	4.750	97.16	3.89	7.89	92.11		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2.360						D10= — Cu= —
No10	2.000	85.31	3.81	11.70	88.30		D30= — Cc= —
No16	1.180						
No20	0.850	91.18	3.65	15.35	84.65		
No30	0.600						
No40	0.425	85.43	3.42	18.76	81.24		
No50	0.300	81.33	3.25	22.02	77.98		
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	80.45	3.22	25.23	74.77		
No200	0.075	71.07	2.84	28.08	71.92		
BASE		1798.09	71.92	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA		71.92					

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
 P.I.= 2500.00
 P.L.= 701.91
 P.P.= 1758.09
 s.w.= 8.74

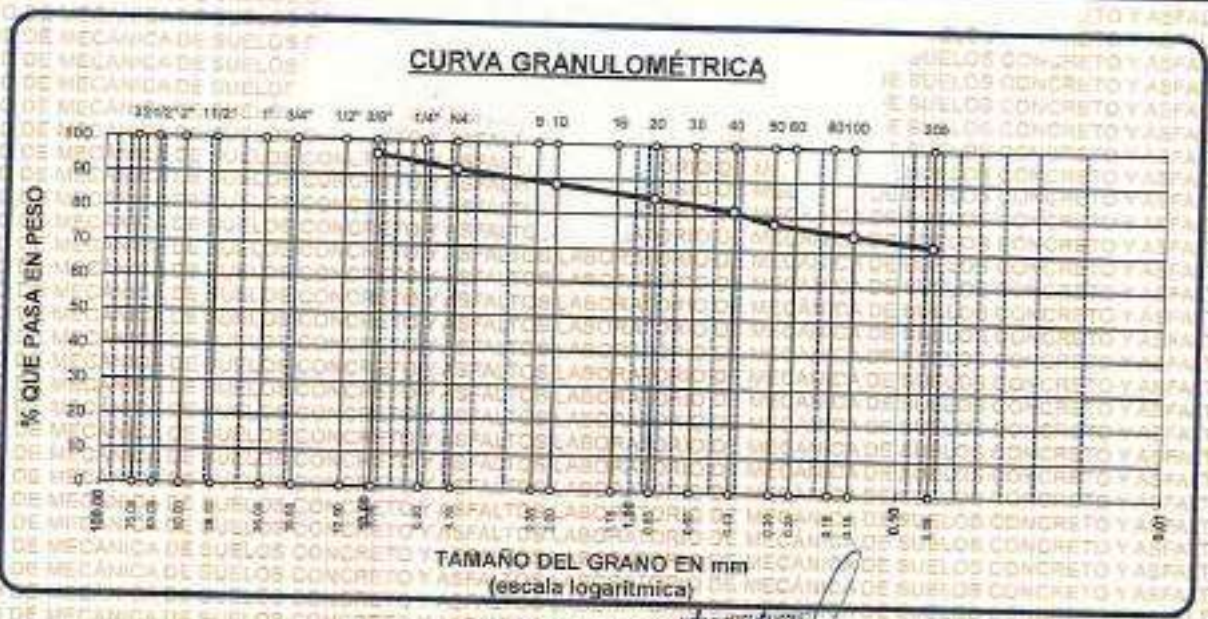
LIMITES DE CONSISTENCIA:
 L.L.= 22.08
 L.P.= 9.41
 I.P.= 12.87

CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
 D10= — Cu= —
 D30= — Cc= —
 D60= —

CLASIFICACIÓN:
 I.G. =

SUCS : CH
 ASSTHO : A-7

OBSERVACIONES:



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

UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELÁSQUEZ"
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
 Ing. Arnelio Pantoja Torres



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024

SOLICITANTE : BASH ELOY KOGUI CONDORI SUCASIRE

LUGAR : CARRETERA JULIACA - ESCALLANI

PROGRESIVA : KM 3+200 - 3+400

MUESTRA : CALICATA 2 - MUESTRA 2

FECHA : 12 DE AGOSTO DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMANO MAXIMO:
3"	75.000						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA P.I.= 2500.00 P.L.= 679.98 P.P.= 1820.02 %W= 9.74 LIMITES DE CONSISTENCIA: L.L.= 22.08 L.P.= 9.41 I.P.= 12.67 CARACT. GRANULOMÉTRICAS: D10= — Cu= — D30= — Cc= — D60= — CLASIFICACIÓN: I.G. = : SUCS : CH ASSTHO : A-7 OBSERVACIONES:
2 1/2"	63.000						
2"	50.000						
1 1/2"	38.100						
1"	25.000						
3/4"	19.000						
1/2"	12.500						
3/8"	9.500	95.00	3.80	3.80	96.20		
1/4"	6.300						
No4	4.750	96.34	3.85	7.65	92.35		
No8	2.380						
No10	2.000	91.85	3.67	11.33	88.67		
No16	1.180						
No20	0.850	87.76	3.51	14.84	85.16		
No30	0.600						
No40	0.425	90.23	3.61	18.45	81.55		
No 50	0.300	85.75	3.43	21.88	78.12		
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	74.97	3.00	24.88	75.12		
No200	0.075	58.05	2.32	27.20	72.80		
BASE		1820.02	72.60	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA		72.80					



NOTA: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE





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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRABANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI

SOLICITANTE : Badi ELOY KOGUI CONDORI SUCABARE

LUGAR : CARRETERA JULIACA - ESCALLANI

PROGRESIVA : KM3+400 - 3+800

MUESTRA : CALICATA 3 - MUESTRA 3

FECHA : 12 DE AGOSTO DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMANO MAXIMO
3"	75.000						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA P.L.= 2500.00 P.L.= 738.38 P.P.= 1761.62 %w= 9.74 LÍMITES DE CONSISTENCIA: LL.= 22.08 LP.= 9.41 IP.= 12.67
2 1/2"	63.000						
2"	50.000						
1 1/2"	38.100						
1"	25.000						
3/4"	19.000						
1/2"	12.500						
3/8"	9.500	120.00	4.80	4.80	95.20		
1/4"	6.300						
No4	4.750	97.26	3.69	8.69	91.31		
No8	2.360						
No10	2.000	93.64	3.75	12.44	87.66		
No15	1.180						
No20	0.850	91.27	3.66	16.09	83.91		
No30	0.600						
No40	0.425	80.82	3.83	19.72	80.28		
No 50	0.300	66.17	3.45	23.17	76.83		
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	60.85	3.23	26.40	73.60		
No200	0.075	78.35	3.13	29.54	70.46		
BASE		1761.52	70.46	100.00	0.00		CLASIFICACIÓN: I.G. = SUCS : CH ASSTHO : A-7 OBSERVACIONES:
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA			70.46				



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

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
 UANCV
 RECA
 [Signature]



UNIVERSIDAD NACIONAL "NESTOR CACERES VELAZQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

PROYECTO
SOLICITANTE
LUGAR
PROGRESIVA
MUESTRA
FECHA

EFFECTO DE LA APLICACION DE CENZAS INORGANICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE ARRIMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024
 Bach. ELOY KOGUI CONDOR SUCCASARE
 CARRETERA JULIACA - ESCALLANI
 KM 9+000 - 9+200
 CALICATA 1 : MUESTRA 1
 12 DE AGOSTO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	90.21
SUELO SECO + TARRO	gr	84.52
PESO DEL TARRO	gr	26.13
PESO DEL AGUA	gr	5.68
PESO DEL SUELO SECO	gr	68.39
HUMEDAD %	%	9.74

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

LÍMITE LIQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	31.11	31.78	33.45
SUELO SECO + TARRO	gr	30.15	29.16	30.87
PESO DEL TARRO	gr	19.98	20.75	21.46
PESO DEL AGUA	gr	0.96	2.62	2.68
PESO DEL SUELO SECO	gr	10.17	8.41	9.41
HUMEDAD %	%	9.44	31.15	27.42
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
19.67	21.04
19.23	20.58
15.03	15.07
0.44	0.46
4.20	5.61
10.48	8.35

LÍMITE LIQUIDO % : 22.08

LÍMITE PLÁSTICO % : 9.41

ÍNDICE PLÁSTICO % : 12.67

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD NACIONAL "NESTOR CACERES VELAZQUEZ"
 FCP - FICP INVESTIGACIÓN

Mgtr. Arnoldo Yanez Torres
 CIP. 100257



UNIVERSIDAD ANDINA "MIGUEL ALEMÁN VELASCO"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS BÁSICAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

PROYECTO : EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALANI 2024

SOLICITANTE : Bch. ELOY ROQUI CONDORI SUCAÑARE

LUGAR : CARRETERA JULIACA - ESCALANI

PROGRESIVA : KM 3+200 - 3+400

MUESTRA : CALICATA 2 - MUESTRA 2

FECHA : 12 DE AGOSTO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	90.65
SUELO SECO + TARRO	gr	85.37
PESO DEL TARRO	gr	26.42
PESO DEL AGUA	gr	5.28
PESO DEL SUELO SECO	gr	58.95
HUMEDAD %	%	8.98

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

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	31.02	31.43	30.22
SUELO SECO + TARRO	gr	29.28	29.74	28.98
PESO DEL TARRO	gr	21.51	23.04	22.2
PESO DEL AGUA	gr	1.76	1.69	1.24
PESO DEL SUELO SECO	gr	7.75	6.70	6.78
HUMEDAD %	%	22.71	25.22	18.29
N° DE GOLPES		31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
20.50	19.52
19.81	18.91
12.66	12.56
0.89	0.61
7.15	6.35
9.65	9.61

LÍMITE LÍQUIDO % : 21.82

LÍMITE PLÁSTICO % : 9.63

ÍNDICE PLÁSTICO % : 12.19

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



INVESTIGADORA: ELOY ROQUI SUCAÑARE
 P.R.P. - CAR. INGENIERÍA CIVIL
 Mgtr. Amparo Yana Torres
 CIP 103257



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



PROYECTO : EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMACO DE LA CARRETERA JULIMCA - ESCALANI 2024

SOLICITANTE : RICHY EL YRIGUI CONDORI SUCAÑARE

LUGAR : CARRETERA JULIMCA - ESCALANI

PROGRESIVA : KM 3+400 - 3+600

MUESTRA : CALICATA 2 - MUESTRA 3

FECHA : 12 DE AGOSTO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	91.90
SUELO SECO + TARRO	gr	85.71
PESO DEL TARRO	gr	24.55
PESO DEL AGUA	gr	8.19
PESO DEL SUELO SECO	gr	61.16
HUMEDAD %	%	10.12

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

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	29.89	31.92	33.24
SUELO SECO + TARRO	gr	28.92	30.46	31.22
PESO DEL TARRO	gr	23.14	24.02	24.31
PESO DEL AGUA	gr	0.97	1.49	2.02
PESO DEL SUELO SECO	gr	5.78	6.44	6.91
HUMEDAD %	%	16.78	22.67	29.23
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
22.31	21.21
21.14	20.58
12.02	11.88
1.17	0.63
9.12	8.70
12.83	7.24

LÍMITE LÍQUIDO % : 22.35

LÍMITE PLÁSTICO % : 10.04

ÍNDICE PLÁSTICO % : 12.31

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

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



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

Melva Sandoval Tena Torres
CIP: 109287



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

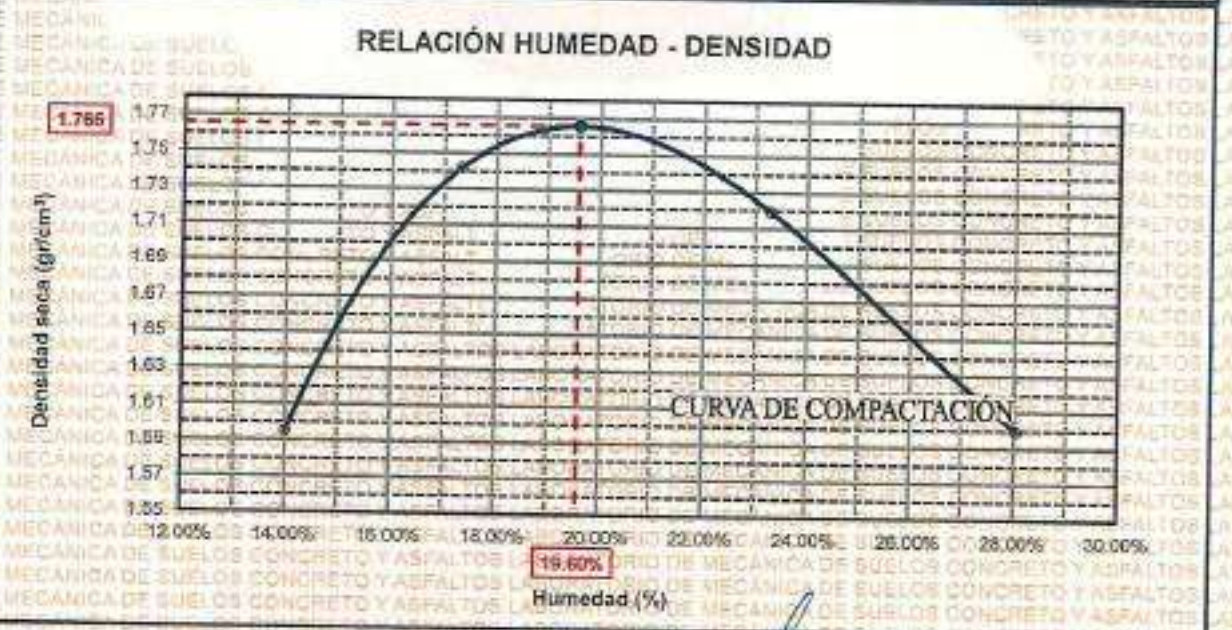
TESIS	: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMACO DE LA CARRETERA JULAGA - ESCALLANI 2024.
SOLICITANTE	: Bach. ELOY KOKUI CONDORI SUCASAIRE
UBICACIÓN	: CARRETERA JULAGA - ESCALLANI
PROGRESIVA	: KM 3+300 - 3+200
MUESTRA	: CALICATA 1 - MUESTRA 1
FECHA	: 12 DE AGOSTO DEL 2024.

MOLEDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 930 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	8067	8134	8053	8352
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1918	1983	1912	1701
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	2.048	2.120	2.044	1.818

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	70.12	75.13	84.75	90.75	85.57	90.56	83.47	89.19
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	58.95	62.48	71.08	79.67	72.06	82.34	85.12	82.61
Peso del Agua	gr.	11.17	10.65	13.67	11.08	11.82	7.71	10.35	6.58
Peso de la Capsula	gr.	19.37	24.32	19.80	24.03	21.22	18.27	22.65	22.21
Peso del Suelo Seco	gr.	39.58	38.16	51.23	55.64	50.83	64.07	60.47	60.40
% de Humedad	%	28.22%	27.91%	26.58%	19.91%	23.66%	12.03%	17.12%	10.89%
Promedio de Humedad	%	26.07%		23.30%		17.35%		14.00%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.599		1.719		1.742		1.695	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.766 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 19.60%



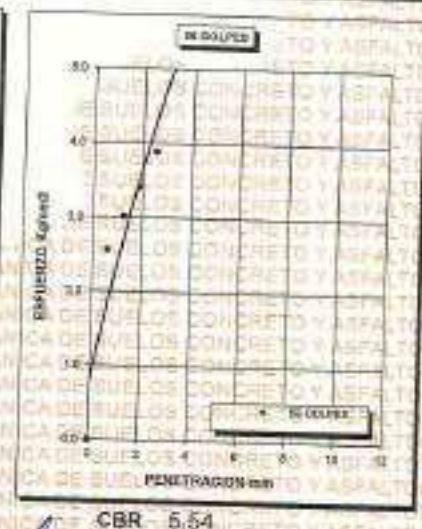
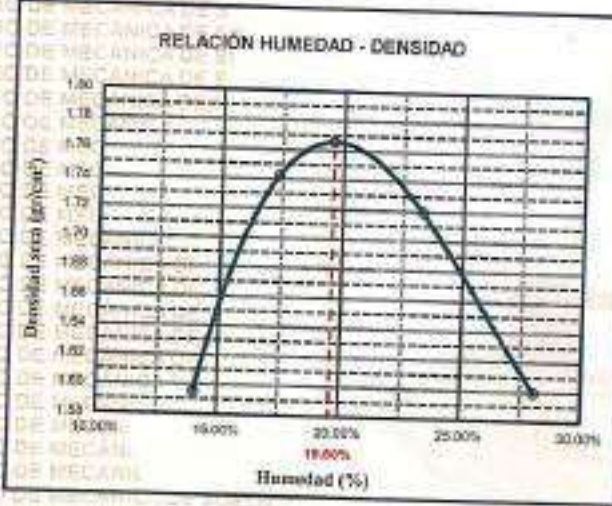
[Firma manuscrita]
 ELOY KOKUI CONDORI SUCASAIRE
 INGENIERO CIVIL
 CIP 101297



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



PROYECTO : EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE ARRIMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO : Bach. ELDY KOKU CONDORI SUCASAIRE	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3.)	1.765
UBICACION : CARRETERA JULIACA - ESCALLANI	HUMEDAD OPTIMA (%)	19.60%
PROGRESIVA : KM 3+000 - 3+200	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	5.26
MUESTRA : SUELO NATURAL - CALICATA - M1	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	3.90
FECHA : 12 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN :	CL
	AASHTO :	A-2
	EMBEBIDO :	4 DIAS



VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN
 FICP - IAP UNIVERSIDAD CIVIL
 Lic. Arnaldo Yane Torres
 CIP. 4032547



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 AASITO T-99 T-180

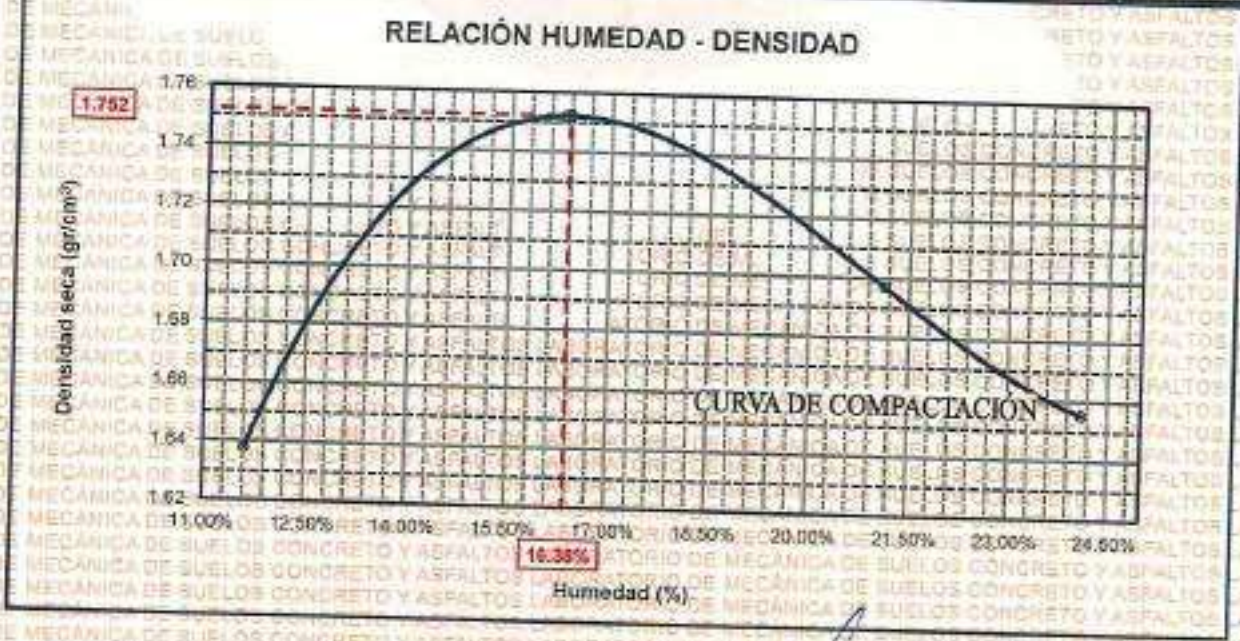
TESIS	EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024		
SOLICITANTE	Bach. ELOY KOQUL CONDORI SUCASAIRE		
UBICACIÓN	CARRETERA JULIACA - ESCALLANI		
PROGRESIVA	KM 3+200 - 3+400		
MUESTRA	CALICATA 2 - MUESTRA 2		
FECHA	12 DE AGOSTO DEL 2024		

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	935 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	6073	6074	6057	6061
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1922	1923	1906	1710
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	2.058	2.058	2.038	1.820

Capsula No	No	SUP.	INF.	SLIP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	69.93	74.83	83.41	82.38	81.97	84.88	91.48	91.38
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	59.80	64.91	72.67	60.24	60.24	64.12	85.34	83.22
Peso del Agua	gr.	9.03	9.92	10.74	12.14	8.01	10.64	6.14	8.14
Peso de la Capsula	gr.	19.21	24.82	19.89	24.87	22.05	16.37	23.00	22.96
Peso del Suelo Seco	gr.	40.59	40.09	52.78	55.37	51.41	55.75	63.34	60.67
% de Humedad	%	22.48%	24.74%	20.35%	21.80%	16.55%	18.00%	8.60%	13.37%
Promedio de Humedad	%	24.11%		21.14%		16.29%		11.61%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.655		1.697		1.752		1.638	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.752 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	16.38%



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

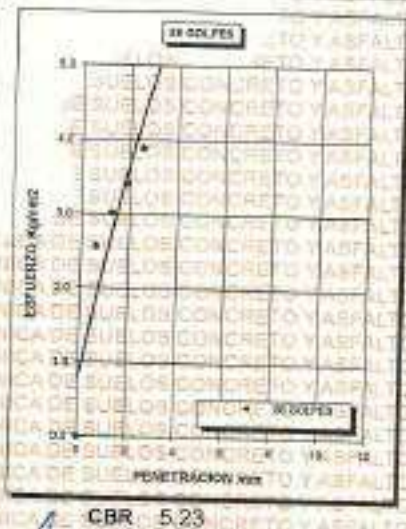
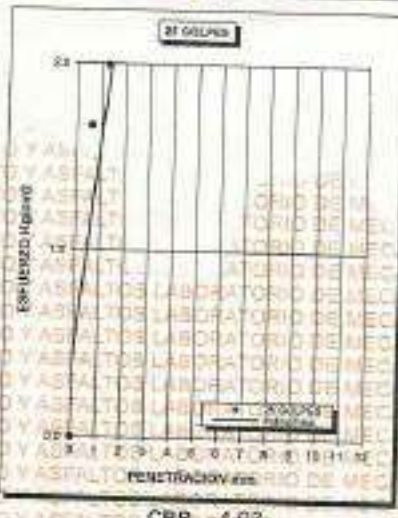
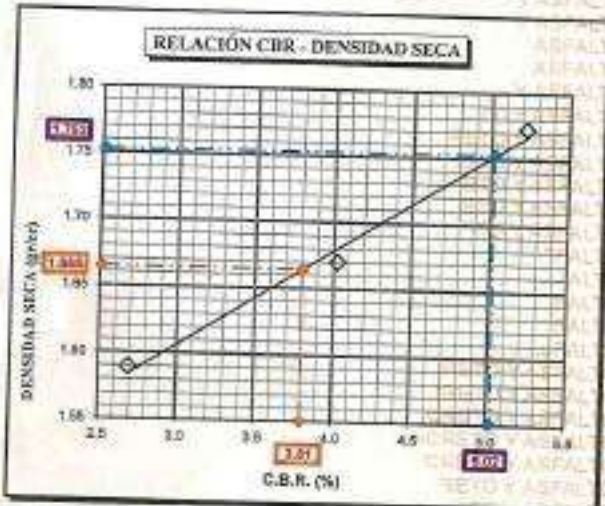
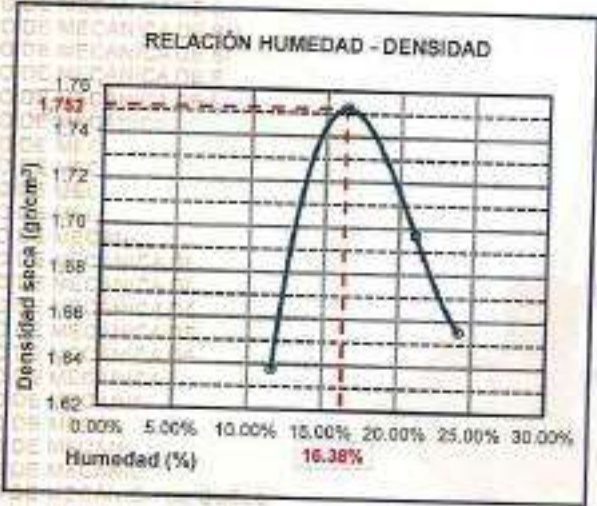
[Firma]
Sir Aracido Tena Torres
CPI. 193257



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



PROYECTO	EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENizas INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASMANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE ARRIMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024	METODO DE COMPACTACIÓN	ASTM D1557-91
SOLICITADO	Bach. ELOY KOCUI CONDORI SUJASAIRE	MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.752
UBICACIÓN	CARRETERA JULIACA - ESCALLANI	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	16.4%
PROGRESIVA	KM 3+200 - 3+400	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	5.02
MUESTRA	SUELO NATURAL - CALICATA - M2	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	3.81
FECHA	12 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN	CL
		AASHTO	A-2
		EMBEBIDO	4 DIAS



OFICINA DE INVESTIGACIÓN UANCV
 PEP - CIVIL INGENIERÍA CIVIL
 Mg. Arando René Torres
 CIP. 103257



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

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

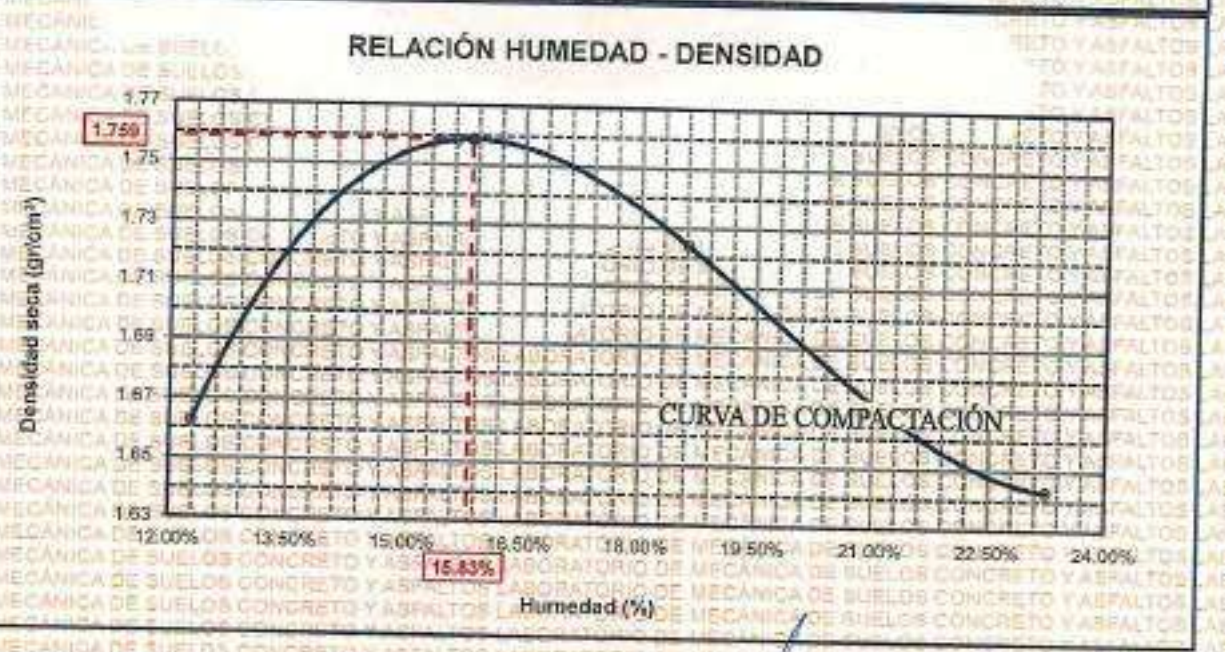
TESIS	EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024		
SOLICITANTE	Bach. ELOY KOGUI CONDORI SUCAISRE		
UBICACIÓN	CARRETERA JULIACA - ESCALLANI		
PROGRESIVA	KM 3+400 - 3+500		
MUESTRA	CALICATA 3 - MUESTRA 3		
FECHA	12 DE AGOSTO DEL 2024		

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

Peso Suelo Humedo + Molde	gr	6045	6054	6058	5897
Peso del Molde	gr	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³	1894	1913	1902	1746
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³	2.025	2.045	2.033	1.899

Capacita No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr	97.12	71.25	80.54	89.92	81.32	81.88	80.59	82.38
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr	88.42	82.06	71.55	79.11	72.88	82.75	83.81	84.04
Peso de la Capsula	gr	18.95	24.16	19.79	24.81	21.68	18.37	22.62	22.27
Peso del Suelo Seco	gr	39.49	37.90	51.76	54.30	50.90	64.42	61.29	61.77
% de Humedad	%	22.21%	24.27%	17.37%	19.87%	17.17%	14.08%	11.00%	13.90%
Promedio de Humedad	%	23.24%		18.42%		15.63%		12.20%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.643		1.724		1.758		1.662	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.759 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	15.83%



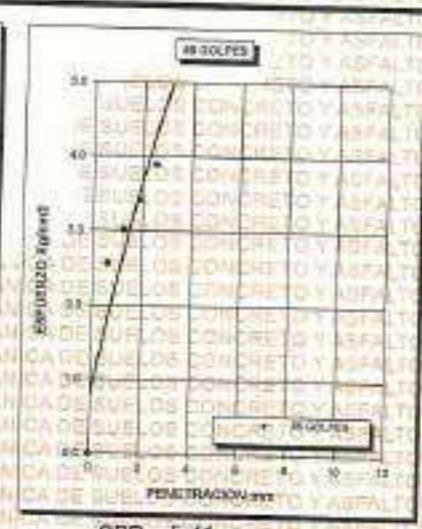
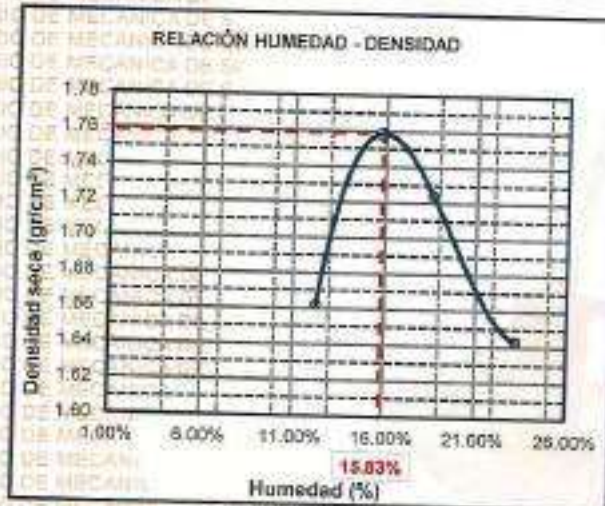
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 Mtro. ELOY KOGUI CONDORI SUCAISRE
 C.I. 107117



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



PROYECTO :	EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO :	Bach. ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.)	1.759
UBICACIÓN :	CARRETERA JULIACA - ESCALLANI	HUMEDAD OPTIMA (%)	15.83%
PROGRESIVA :	KM 3+400 - 3+800	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	5.14
MUESTRA :	SUELO NATURAL - CALICATA - M3	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	3.87
FECHA :	12 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FICP - CIVIL INGENIERÍA CIVIL
 Dr. Análida Jara Cortés
 D.P. 103257



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 15-07-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: ELOY KOQUI CONDORI SUCASAIRE

Dirección: JR. VALLECITO 307

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 40877848

Teléfono: 955 663 335 email: academo_koqui@hotmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

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

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

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

Asesor: Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS INORGÁNICAS SOBRE LA CAPACIDAD DE

SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE ESPESOR

DE AFIRMADO DE LA CARRETERA JULIACA - ESCALLANI 2024

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

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

1

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

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



2. Referencia de tesis:

- Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

Autorizo su publicación (marque con una X)

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

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

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero 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

15-07-2025

Fecha