



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



**MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA
SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN
PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO
DE LA CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA
SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN
PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO
DE LA CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO

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

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:

Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

PRIMER MIEMBRO

:

Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO

:

Mgtr. HERNÁN PEDRO MARTÍNEZ RAMOS

ASESOR DE TESIS

:

Dr. EFRAÍN PARILLO SOSA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1854-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 23 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024- 15792 presentado por el (la) Bachiller: **ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 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. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
- * **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- * **2do Miembro** : Mgtr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS

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

ARTICULO TERCERO. - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : Jueves 26 de diciembre del 2024
- * **HORA** : 12:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 306 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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

Dr. WILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1189-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 03 de octubre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 011819 por el señor (a): **ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 1097 - 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 190- 2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Mgtr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 190- 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

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

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 C.S. PURAS

Dr. WILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 849-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 22 de agosto del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU-10429, presentado el señor (a) **ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 812-2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 231-2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 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° 231-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024**.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

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

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente Dr. **EFRAIN PARILLO SOSA**.

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. MALTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790

cc.
Archivo 2024
Interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

13%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS


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



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74170989
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0005-7301-6964
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02416058
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-7567-039X
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02441152
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	HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	01316765
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: Huancané Distrito: Huatasani Latitud: S 15° 03' 17" Longitud: O 69° 48' 42"</p>  <p>https://maps.app.goo.gl/wiQK4P5a4Tw2Uk3w6</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2024 – Diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE	<p>https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</p> <p>- Librería</p>
	<p>Ingeniería Civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00</p> <p>Ingeniería de la Construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</p>



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS
Dr. Efraín Barrio Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO, identificado con DNI Nro. 74170989, en mi condición de egresado de:

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

INGENIERÍA CIVIL

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

MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN

DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO

DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024

Asesorado por: Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

Es un tema original.

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

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

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

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

Juliaca 06 de enero del 2025


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)


Huella



DEDICATORIA

A lo largo de mi camino, he sentido tu amor acompañándome, guiándome y dándome fuerzas. Estoy profundamente agradecido por tu presencia constante, por ser mi faro en los momentos de incertidumbre y mi refugio en las dificultades. Tu amor incondicional es mi mayor inspiración para seguir creciendo y esforzándome por ser mejor cada día. ¡Gracias por estar siempre conmigo!

A mis queridos padres,

Ustedes son mi roca, mi guía y mi mayor fuente de inspiración. A través de su amor y sacrificio, he aprendido el verdadero significado de la familia. Gracias por ser mis héroes, por enseñarme con paciencia y por ser el faro que ilumina mi camino. Los amo con todo mi corazón.

.



AGRADECIMIENTO

Amado Dios, gracias por la fortaleza y la sabiduría que me has otorgado a lo largo de mi vida. Tu guía ha sido mi faro y tu presencia, mi mayor consuelo. Estoy profundamente agradecido por cada una de las bendiciones que has derramado sobre mí y por tu amor infinito que siempre me acompaña.

Queridos padres, su amor incondicional y apoyo constante han sido mi roca en este viaje llamado vida. Gracias por enseñarme valores, brindarme oportunidades y ser mi mayor inspiración. Su sacrificio y dedicación han forjado el camino para mi éxito.



ÍNDICE GENERAL

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

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.2.1 Problema General.....	2
1.2.2 Problemas Específicos.....	2
1.3 Objetivos de la investigación.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Justificación de la investigación.....	3
1.4.1 Justificación Técnica.....	3
1.4.2 Justificación Económica.....	3
1.4.3 Justificación Social.....	3
1.4.4 Justificación Ambiental.....	4
1.5 Hipótesis de la investigación.....	4
1.5.1 Hipótesis General.....	4
1.5.2 Hipótesis Específicas.....	4
1.6 Variables e indicadores.....	4
1.6.1 Variable Independiente.....	4
1.6.2 Variable Dependiente.....	5
1.7 Operacionalización de variables.....	5



CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación 6
2.1.1 Antecedentes Internacionales 6
2.1.2 Antecedente Nacional 9
2.1.3 Antecedente de Ámbito Local 12
2.2 Bases Teóricas 17
2.2.1 Capacidad relativa de soporte (CBR) 17
2.2.2 Ceniza de carbón 24
2.2.3 Subrasante 27
2.2.3.1 Propiedades de la Subrasante 28
2.2.3.2 Comportamiento de la Subrasante 28
2.2.3.3 Mejoramiento de la Subrasante 28
2.2.3.4 Normativa Aplicable 29
2.2.4 Afirmado 29
2.2.5 Suelos 30
2.2.5.1 Propiedades del Suelo 30
2.2.6 Pavimentos 31
2.2.6.1 Tipos de Pavimentos 32
2.2.6.2 Componentes de un Pavimento 33
2.2.6.3 Propiedades del Pavimento 33
2.2.6.4 Ensayos en Pavimentos 33
2.3 Marco conceptual 34
2.3.1 Subrasante: 34
2.3.2 Suelos: 34
2.3.3 CBR (California Bearing Ratio): 34
2.3.4 Resistencia a la Compresión: 34
2.3.5 Análisis Granulométrico: 35
2.3.6 Límite Líquido: 35
2.3.7 Límite Plástico: 35
2.3.8 Máxima Densidad Seca: 35



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño de la investigación 36

3.2 Método de la investigación 36

3.3 Nivel y tipo de la investigación 37

 3.3.1 Nivel de la Investigación 37

 3.3.2 Tipo de la investigación 37

3.4 Población y muestra 37

 3.4.1 Población 37

 3.4.2 Muestra 37

3.5 Técnicas e instrumentos de investigación. 38

 3.5.1 Técnicas de la Investigación 38

 3.5.2 Instrumentos de la Investigación 39

3.6 Proceso para la recolección de datos 40

 3.6.1 Desarrollo del Plan de Investigación 40

3.8.3 Procesamiento y Análisis de datos 46

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados 47

 4.1.1 Propiedades mecánicas de las capas de subrasante y las capas de afirmado 57

 4.1.2 Impacto de incorporación de ceniza de carbón sobre las propiedades
 mecánicas del suelo de subrasante 68

 4.1.2.1 Comparativo de los CBR obtenidos 75

 4.1.3 Espesor del afirmado tras la estabilización de la subrasante y ejes equivalentes
 76

4.2 Discusión de resultados 78

CONCLUSIONES 81

RECOMENDACIONES 82

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 83

ANEXOS 85



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operación de Variables.....	5
Tabla 2 Categorías de subrasante.....	18
Tabla 3 Clasificación del tamaño de partículas.....	30
Tabla 4 Clasificación de suelos según el índice de plasticidad.....	31
Tabla 5 Clasificación de suelos según el índice de plasticidad.....	31
Tabla 6 Tramo de pozos de exploración.....	41
Tabla 7 Contenido de humedad de las calicatas.....	47
Tabla 8 Granulometría de la Calic. 01.....	48
Tabla 9 Granulometría de la Calic. 02.....	49
Tabla 10 Granulometría de la Calic. 03.....	50
Tabla 11 Límites de Atterberg de las muestras de calicatas.....	51
Tabla 12 G. Compactación - Calicata 1.....	52
Tabla 13 Grado Compactación - Calicata 2.....	54
Tabla 14 Grado Compactación - Calicata 3.....	55
Tabla 15 CBR – c-1.....	57
Tabla 16 CBR – M - 2.....	58
Tabla 17 CBR – C-3.....	60
Tabla 18 Resultados de las Calicatas Naturales.....	61
Tabla 19 CBR – c - 1 - Afirmado.....	62
Tabla 20 CBR – M - 2 - Afirmado.....	64
Tabla 21 CBR – C-3 - Afirmado.....	65
Tabla 22 Resultados de Muestraas - Afirmado.....	67
Tabla 23 CBR Natural + 6% Ceniza de Carbón.....	68
Tabla 24 CBR Natural + 12% Ceniza de Carbón.....	70
Tabla 25 CBR Natural + 18% Ceniza de Carbón.....	73
Tabla 26 Comparativo del CBR Subrasante + Ceniza de Carbón.....	75



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Componentes del pavimento.....	32
Figura 2	Ubicación del tramo	40
Figura 3	Obtención de la ceniza de carbón	42
Figura 4	Contenido de humedad de las calicatas.....	48
Figura 5	Granulometría de la Calic. 01.....	49
Figura 6	Granulometría de la Calic. 02.....	50
Figura 7	Granulometría de la Calic. 03.....	51
Figura 8	Límites de Atterberg de las muestras de calicatas	52
Figura 9	G. Compactación - Calicata 1.....	53
Figura 10	Curva de compactación - Calicata 1	53
Figura 11	Grado Compactación - Calicata 2	54
Figura 12	Curva de compactación - Calicata 2.....	55
Figura 13	G. Compactación - Calicata 3.....	56
Figura 14	Curva de compactación - Calicata 3.....	56
Figura 15	CBR - calicata 1	57
Figura 16	Relación CBR - calicata 1	58
Figura 17	CBR - calicata 2	59
Figura 18	Relación CBR - calicata 2	59
Figura 19	CBR - calicata 3	60
Figura 20	Relación CBR - calicata 3	61
Figura 21	Resultados de las Calicatas Naturales	62
Figura 22	CBR - calicata 1 - Afirmado.....	63
Figura 23	Relación CBR - calicata 1 - Afirmado	63
Figura 24	CBR - calicata 2 - Afirmado.....	64
Figura 25	Relación CBR - calicata 2 - Afirmado	65
Figura 26	CBR - calicata 3 - Afirmado.....	66
Figura 27	Relación CBR - calicata 3 - Afirmado	66
Figura 28	Resultados de las Calicatas - Afirmado.....	67
Figura 29	CBR Natural 1 – 6% Ceniza de Carbón	68
Figura 30	CBR Natural 2 – 6% Ceniza de Carbón	69
Figura 31	CBR Natural 3 – 6% Ceniza de Carbón	69
Figura 32	CBR Natural – 6% Ceniza de Carbón	70
Figura 33	CBR Natural 1 – 12% Ceniza de Carbón	71
Figura 34	CBR Natural 2 – 12% Ceniza de Carbón	71



Figura 35 CBR Natural 3 – 12% Ceniza de Carbón	72
Figura 36 CBR Natural – 12% Ceniza de Carbón	72
Figura 37 CBR Natural 1 – 18% Ceniza de Carbón	73
Figura 38 CBR Natural 2 – 18% Ceniza de Carbón	74
Figura 39 CBR Natural 3 – 18% Ceniza de Carbón	74
Figura 40 CBR Natural – 18% Ceniza de Carbón	75
Figura 41 Comparativo del CBR Subrasante + Ceniza de Carbón	76
Figura 42 Cuadro de ejes equivalentes y espesores (mtc).....	77



RESUMEN

La Tesis titulada "**Mejoramiento de la capacidad de soporte de la subrasante con incorporación de ceniza de carbón para la reducción de espesor de afirmado de la carretera Huatasani - Munaypa, 2024**" el objetivo principal mejorar la capacidad de soporte de la subrasante mediante la incorporación de ceniza de carbón, con el fin de reducir el espesor del afirmado en dicha vía. El estudio emplea un diseño experimental, con un enfoque científico, de nivel explicativo y tipo aplicado. La población conforma por vías y/o carreteras con afirmados deteriorados y suelos de subrasante inestables en la región Puno, mientras que la muestra corresponde al tramo afirmado de la carretera Huatasani - Munaypa. Se evaluó el impacto de la adición de ceniza de carbón en porcentajes de 6%, 12% y 18% sobre las propiedades mecánicas del suelo de subrasante. En primer lugar, se determinaron las propiedades mecánicas iniciales de las capas de subrasante y afirmado. La subrasante presentó un CBR promedio de 3.22% al 100% de compactación y 2.52% al 95%, mientras que el afirmado alcanzó un CBR promedio de 36.02% al 100% y 28.56% al 95%. En segundo lugar, se evidenció que la adición de ceniza de carbón mejoró significativamente las propiedades mecánicas del suelo de subrasante. El porcentaje óptimo fue del 12%, logrando un CBR promedio de 13.81% al 100% de compactación y 9.13% al 95%. Estos resultados fueron obtenidos a partir del análisis de tres calicatas realizadas en el tramo de estudio. Finalmente, se calculó el espesor del afirmado tras la estabilización de la subrasante utilizando la ecuación de AUSTROADS, obteniéndose un espesor optimizado de 137.15 mm, estableciendo así una correlación directa entre el CBR y las cargas aplicadas en pavimentos.

Palabras claves: Ceniza de carbón, subrasante, CBR, grado de compactación, propiedades mecánicas.



ABSTRACT

The thesis entitled "**Improving the support capacity of the subgrade with the incorporation of coal ash to reduce the thickness of the pavement of the Huatasani - Munaypa highway, 2024**" has the main objective of improving the support capacity of the subgrade by incorporating coal ash, in order to reduce the thickness of the pavement on said road. The study uses an experimental design, with a scientific approach, of an explanatory level and of an applied type. The population is made up of roads and/or highways with deteriorated pavements and unstable subgrade soils in the Puno region, while the sample corresponds to the paved section of the Huatasani - Munaypa highway. The impact of the addition of coal ash in percentages of 6%, 12% and 18% on the mechanical properties of the subgrade soil was evaluated. First, the initial mechanical properties of the subgrade and pavement layers were determined. The subgrade presented an average CBR of 3.22% at 100% compaction and 2.52% at 95%, while the aggregate reached an average CBR of 36.02% at 100% and 28.56% at 95%. Secondly, it was shown that the addition of coal ash significantly improved the mechanical properties of the subgrade soil. The optimum percentage was 12%, achieving an average CBR of 13.81% at 100% compaction and 9.13% at 95%. These results were obtained from the analysis of three test pits carried out in the study section. Finally, the thickness of the aggregate was calculated after the stabilization of the subgrade using the AUSTROADS equation, obtaining an optimized thickness of 137.15 mm, thus establishing a direct correlation between the CBR and the loads applied in pavements.

Keywords: Coal ash, subgrade, CBR, compaction degree, mechanical properties.



INTRODUCCIÓN

A nivel nacional e internacional, existen diversas entidades o empresas constructoras que se dedican a la construcción y mejoramiento de carreteras. Estas entidades y empresas buscan materiales que puedan mejorar la resistencia y desempeño de las carreteras, lo cual está relacionado con sus propiedades mecánicas, brindar una mejor durabilidad y permitir el cuidado del medio ambiente. En esa misma línea, el reciclaje de materiales.

Derivado de la necesidad de mantener las carreteras en condiciones ideales, existe una búsqueda continua de materiales que proporcionen al suelo la resistencia requerida para soportar cargas recurrentes y otros elementos que inciden en su longevidad. Esta búsqueda se está realizando a escala mundial. En el contexto de este marco, se requiere realizar investigaciones sobre las cenizas de carbón como una alternativa. Esto facilitará el desarrollo de soluciones innovadoras y de largo plazo que fortalezcan la estabilidad y resiliencia de las carreteras.

En este contexto, en los últimos años se ha puesto cada vez más énfasis en la utilización de materiales alternativos y reciclados con el propósito de mejorar las cualidades de la subrasante. Uno de estos materiales es la ceniza de carbón, que es un subproducto del proceso industrial que, cuando se aplica adecuadamente, tiene el potencial de aumentar considerablemente la capacidad de la subrasante para soportar su propio peso. La incorporación de ceniza de carbón tiene el potencial no solo de ofrecer una solución que sea rentable y respetuosa con el medio ambiente, sino que también puede contribuir a la reducción de los desechos de los procesos industriales y a la mitigación de los problemas ambientales.

La investigación contiene 4 capítulos:



Capítulo I: Este capítulo abarca la formulación del problema de investigación, los objetivos planteados, la justificación del estudio, las hipótesis y la definición de las variables.

Capítulo II: Este capítulo ofrece una visión general de los fundamentos teóricos del estudio y el contexto de investigación a escala global, nacional y local.

Capítulo III: Este capítulo detalla el diseño metodológico, incluyendo el método de investigación, el nivel y tipo de estudio, la población, la muestra, las técnicas e instrumentos utilizados, así como los procedimientos para el análisis de datos.

Capítulo IV: Aquí se exponen los resultados obtenidos y se realiza su discusión, analizando y contrastando los hallazgos con respecto a los objetivos y las bases teóricas planteadas.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática

La carretera Huatasani – Munaypa, ubicada en una región de alta importancia para la conectividad local, presenta problemas significativos relacionados con capacidad de soporte de subrasante. Estas condiciones afectan directamente la funcionalidad y la vida útil de la infraestructura vial, lo que a su vez repercute en el transporte de bienes y servicios, así como en la calidad de vida de los habitantes de la zona. Uno de los principales problemas radica en las características geotécnicas de la subrasante, la cual no cumple con los estándares requeridos para soportar las cargas dinámicas del tránsito vehicular. Esto ha llevado a fallas prematuras en la superficie de rodadura, aumento de los costos de mantenimiento y la necesidad de incrementar el espesor del afirmado, lo que representa una solución costosa y poco eficiente. Adicionalmente, en la región se enfrenta una limitada disponibilidad de materiales de calidad para la construcción de carreteras, lo que dificulta la implementación de soluciones tradicionales. Frente a este panorama, es fundamental buscar alternativas que optimicen el uso de los recursos disponibles, reduciendo los costos de construcción y mantenimiento sin comprometer la calidad estructural de la vía.

En este contexto, la incorporación de ceniza de carbón como material estabilizante en la subrasante ofrece una alternativa innovadora. Este residuo industrial, abundante y

de bajo costo, ha demostrado en estudios previos mejorar las cualidades mecánicas de los suelos. Sin embargo, su aplicación específica en la carretera Huatasani – Munaypa no ha sido explorada, dejando una oportunidad de investigación para evaluar su impacto técnico, económico y ambiental en este proyecto vial.

Por lo tanto, este estudio busca abordar los problemas mencionados mediante la evaluación del uso de ceniza de carbón como una solución sostenible y eficiente, contribuyendo al mejoramiento de las condiciones estructurales de la carretera y a la optimización de los recursos en proyectos similares.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 *Problema General*

¿Cómo se puede mejorar la capacidad de soporte de la subrasante mediante la incorporación de ceniza de carbón para reducir el espesor del afirmado en la carretera Huatasani - Munaypa 2024?

1.2.2 *Problemas Específicos*

- a. ¿Cuáles son las propiedades mecánicas actuales de la subrasante y del afirmado en la carretera Huatasani - Munaypa?
- b. ¿Cómo afecta la incorporación de diferentes porcentajes de ceniza de carbón a las propiedades mecánicas de la subrasante en la carretera Huatasani - Munaypa?
- c. ¿Cuál es el espesor óptimo del afirmado en función de las propiedades mejoradas de la subrasante y las cargas actuales en la carretera Huatasani - Munaypa?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 *Objetivo General*

Mejorar la capacidad de soporte de la subrasante mediante la incorporación de ceniza de carbón, optimizando el espesor del afirmado en la carretera Huatasani - Munaypa 2024.



1.3.2 *Objetivos Específicos*

- a. Determinar las propiedades mecánicas actuales de la subrasante y la capa de afirmado en la carretera Huatasani - Munaypa.
- b. Evaluar el efecto de incorporar diferentes porcentajes de ceniza de carbón en las propiedades mecánicas del suelo de subrasante en la carretera Huatasani - Munaypa.
- c. Calcular el espesor óptimo del afirmado considerando las propiedades mejoradas de la subrasante y las cargas equivalentes actuales en la carretera Huatasani - Munaypa.

1.4 **Justificación de la investigación**

1.4.1 *Justificación Técnica*

Radica en la capacidad de la ceniza de carbón para mejorar atributos mecánicos del suelo, resistencia, durabilidad y estabilidad. Además, su incorporación contribuye al desarrollo de suelos más sostenibles y eficaces para la construcción de infraestructuras viales, posicionándola como una alternativa técnica viable para el mejoramiento de subrasantes.

1.4.2 *Justificación Económica*

El uso de ceniza de carbón permite reducir los costos asociados a los materiales tradicionales y optimizar los recursos disponibles. Su implementación ofrece una solución económica al aprovechar un subproducto industrial, generando ahorros significativos en proyectos viales sin comprometer la calidad del trabajo.

1.4.3 *Justificación Social*

El mejoramiento de subrasantes genera impactos sociales positivos, como empleo durante la ejecución de proyectos, la mejora en la calidad de las vías para las comunidades beneficiadas y el fomento de prácticas sostenibles. Además, contribuye a reducir riesgos asociados al deterioro de las carreteras, mejorando la seguridad y el bienestar de la población.

1.4.4 Justificación Ambiental

Desde el enfoque ambiental, el uso de ceniza de carbón promueve la reutilización de un residuo industrial, disminuyendo su acumulación en el medio ambiente. Asimismo, reduce la necesidad de extraer recursos naturales, contribuyendo a la conservación del entorno y la mitigación de impactos negativos, fomentando prácticas responsables y sostenibles en la construcción vial.

1.5 Hipótesis de la investigación

1.5.1 Hipótesis General

La incorporación de ceniza de carbón mejora la capacidad de soporte de la subrasante y permitirá reducir el espesor del afirmado en la carretera Huatasani - Munaypa 2024.

1.5.2 Hipótesis Específicas

- a. Las propiedades mecánicas actuales de la subrasante y el afirmado serán insuficientes para soportar las condiciones de tráfico en la carretera Huatasani - Munaypa.
- b. La adición de ceniza de carbón incrementará el CBR y la densidad de la subrasante, mejorando su capacidad de soporte.
- c. La estabilización de la subrasante con ceniza de carbón permitirá reducir el espesor del afirmado cumpliendo con los estándares técnicos requeridos.

1.6 Variables e indicadores

1.6.1 Variable Independiente

Ceniza de Carbón

Indicadores

- Porcentajes de incorporación de ceniza de carbón en 6%, 12% y 18%.

1.6.2 Variable Dependiente

Capacidad de Soporte de Subrasante

Indicadores

- CBR
- Espesor de Afirmado

Indicadores

- CBR
- IMDA

1.7 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operación de Variables

Variable Independiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos de Medición
Ceniza de Carbón	La ceniza de carbón es el residuo sólido que queda después de la combustión del carbón. Está compuesta principalmente de minerales inorgánicos que no se queman, como sílice, alúmina y óxidos de metales.	Dosificaciones de los materiales sobre la subrasante	Dosificaciones de ceniza de carbón en 6%, 12% y 18%.	Bandejas y herramientas de laboratorio
Variable Dependiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos de Medición
Capacidad de soporte	Debajo del pavimento, las estructuras y los vehículos ejercen cargas, se pueden distribuir esas cargas.	Capacidad subrasante	CBR	Equipos y herramientas de laboratorio
Espesor afirmado	La subrasante es la capa más profunda de una estructura vial, compuesta generalmente por arcilla, arena u otros materiales, y suele presentar problemas de resistencia.	Capacidad de soporte	CBR IMDA	



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 *Antecedentes Internacionales*

Según, Macías y Torres (2018) En su Tesis "Factibilidad del uso de polvillo del alto horno para mejorar material tipo base granular". Para determinar si es factible o no emplear polvo de alto horno como agente estabilizador de bases granulares presentes en la infraestructura vial. En el proceso de desarrollo del estudio, dirigido por el Ingeniero Ricardo Ochoa Díaz de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, se utilizó un agregado proveniente de la cantera San Rafael, ubicada en Cómbita, Boyacá, y también se empleó el polvo de alto horno de Acerías Paz del Río, ubicada en Nobsa, Boyacá. Se determinó que el agregado no cumplía con los estándares de plasticidad e índice de resistencia (CBR) con base en en el año 2013. Posteriormente, se prepararon mezclas utilizando el polvo en proporciones de 2%, 4%, 6%, 8% y 10% y se examinaron las limitaciones de uniformidad, resistencia (CBR) y estabilidad volumétrica de las mismas. Como resultado de la investigación, se identificó la proporción perfecta de polvo que debe estar presente para aumentar los atributos del material. Utilizando un modelo estructural, que incluyó el examen de los estados de tensión, se realizó una comparación adicional entre los espesores de base que se habían estabilizado y los que no se habían



estabilizado. Se realizó un análisis de costo-beneficio, que indicó las ventajas y desventajas del uso de agregado en polvo en proyectos de construcción. Además, la investigación sacó a la luz el potencial del agregado en polvo para mejorar la efectividad y la viabilidad a largo plazo de los proyectos de construcción de carreteras.

Según, Lozano et al (2018) en su tesis "Análisis del mejoramiento de un suelo de subrasante con un aditivo orgánico". La red vial terciaria en Colombia está compuesta en su mayor parte por material de pavimentación y se encuentra en un estado crítico como resultado de la ausencia de mantenimiento rutinario, consecuencia de los bajos recursos que se destinan a la infraestructura de las vías terciarias. La melaza de caña de azúcar es una sustancia orgánica que brinda una opción innovadora y sostenible para la reparación de estas vías. Este experimento se realizó con el objetivo de analizar el uso de un estabilizador alternativo que se basa en la melaza de caña de azúcar. Este estabilizador orgánico, conocido como Terrazyme, se posiciona actualmente como una opción viable como resultado. Este aditivo es una formulación líquida natural a base de enzimas que no es tóxica y mejora considerablemente las cualidades de los suelos, mejorando así su capacidad para tolerar los esfuerzos que son aplicados por los vehículos. Además, el hecho de que este material sea de fácil disponibilidad y simple producción lo convierte en una opción que es rentable y amigable con el medio ambiente. La evaluación, estimación y determinación del comportamiento mecánico del aditivo orgánico Terrazyme como estabilizador de suelos fue el objetivo principal de esta investigación. Para ello, se realizaron una serie de experimentos de laboratorio para investigar su influencia en las características del suelo. Estas pruebas incluyeron distribución del tamaño de partícula, límites de Atterberg, proctor estándar, expansión en pruebas CBR, contenido de materia orgánica por ignición y compresión no confinada. La muestra que se utilizó en la investigación fue recolectada de una carretera ubicada en el barrio Chenche Asoleados del municipio de Purificación. Como parte de la investigación, se realizó una comparación entre los datos obtenidos en el laboratorio antes y después de la aplicación del



estabilizador. Esta comparación permitió evaluar con precisión el impacto que tuvo el aditivo en el suelo. Los resultados de esta investigación presentaron conclusiones y recomendaciones sólidas que pueden ponerse en práctica con respecto a la utilización de Terrazyme con el propósito de mejorar las propiedades mecánicas del suelo en carreteras terciarias. Esta investigación arroja luz sobre la viabilidad de incorporar estabilizadores de este tipo en la red vial terciaria como medio para mejorar su desempeño, disminuir los costos de mantenimiento y fomentar la utilización de tecnologías amigables con el medio ambiente.

Según, Morales (2017) tesis "Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas". El fin de este estudio es investigar el uso de cenizas de una empresa de ladrillos de Medellín para estabilizar suelos. Las cenizas que se utilizan se denominan "CC" (Cenizas de Carbón), y son un subproducto del proceso de cocción de ladrillos. La etiqueta "CC" se eligió para evitar debates sobre su categorización como cenizas volantes o cenizas de fondo, ya que ambas categorías suelen estar relacionadas con las cenizas que producen las plantas termoeléctricas. Este estudio pretende ser un esfuerzo que apoye una mayor investigación sobre El enfoque de este trabajo será su aplicación en caminos sin pavimentar, y también servirá como contribución a futuros estudios en el campo. A medida que se desarrollaba la investigación, el enfoque principal fue hallar la resistencia mecánica de suelos estabilizados en una variedad de condiciones ambientales de curado. Se tomaron en cuenta tres tipos diferentes de suelos, incluidos arena, arcilla de cantera y suelo del municipio de Urao. Además, se tuvieron en cuenta dos temperaturas, dos niveles de humedad, tres % de ceniza de carbón (7%, 14% y una cifra intermedia). Antes de someter las muestras al proceso de prueba, se dejaron curar durante un período de siete días. cilíndricas, se realizaron pruebas de compresión sin confinamiento en muestras con un diámetro de 5 centímetros y una altura de 10 centímetros. Estas muestras se fabricaron en las condiciones ideales de humedad y densidad que se adquirieron mediante pruebas



Proctor modificadas. Se utilizó un aparato conocido como gato hidráulico para comprimir las muestras con el fin de garantizar la consistencia y la precisión durante toda la operación. Los hallazgos de la investigación indicaron que la cantidad adecuada de ceniza de carbón difería según las condiciones climáticas y los niveles de humedad. En entornos donde la humedad era superior al 95%, la dosis ideal era 14% de ceniza de carbón, pero la proporción óptima para condiciones donde la humedad estaba a temperatura ambiente era 7%. Estos hallazgos demuestran los efectos beneficiosos de las cenizas de carbón, mostrando el potencial de las cenizas de carbón como un material que es rentable y respetuoso con el medio ambiente para su aplicación en proyectos de estabilización de suelos. El propósito de este estudio no es sólo proporcionar información técnica sobre la utilización de subproductos industriales en la industria de la construcción, sino también promover soluciones sostenibles que minimicen el impacto sobre el medio ambiente y maximicen la utilización de los recursos. Esta investigación establece las bases para la investigación que se llevará a cabo en el futuro con el objetivo de ampliar el espectro de aplicaciones de las cenizas de carbón en una variedad de circunstancias geotécnicas y climáticas.

2.1.2 Antecedente Nacional

Según, Huamaní (2022) tesis "Mejoramiento de propiedades mecánicas de suelos arcillosos mediante la incorporación de cenizas de carbón para vías carrozables, Puerto Maldonado, 2022". Esta región se caracteriza por una combinación única de características geográficas y climáticas que inciden en el comportamiento de los suelos arcillosos, los cuales se encuentran ampliamente distribuidos en toda la región. Para las investigaciones de mecánica de suelos se contó con la asistencia., empresa especializada en geotecnia e ingeniería, quien se encargó de realizar los ensayos necesarios para caracterizar y analizar el suelo. Estos experimentos permitieron determinar las características básicas del suelo natural, lo que sirvió de base para analizar los cambios que se produjeron como resultado. El desarrollo de la investigación se basó en un diseño experimental y se utilizó el método



de observación para la recolección de datos. En el proceso de investigación se utilizaron diferentes tipos de equipos especializados, como guías de observación, una cinta métrica, una cámara y otros. Esto aseguró que los datos necesarios para el estudio se registraran de manera precisa y completa. El propósito de esta evaluación fue evaluar la influencia que tienen estas combinaciones en la capacidad de carga, así como otras cualidades mecánicas esenciales que son necesarias para su implementación en proyectos de infraestructura. se demostró con los hallazgos que se obtuvieron, que fueron bastante favorables y demostraron que la inclusión de cenizas de carbón fue beneficiosa. Las características estabilizadoras de las cenizas, que contribuyen a una mejor cohesión y resistencia del suelo, son las responsables de este impacto, que puede estar vinculado al fenómeno. Como conclusión, la investigación brinda respaldo estabilizador eficiente para suelos arcillosos. Este material representa una alternativa económicamente rentable y ambientalmente sostenible con el fin de mejorar las condiciones del suelo en lugares que presentan características como las de Puerto Maldonado. Estos resultados tienen el potencial de ser utilizados en futuros proyectos de infraestructura vial, así como en el desarrollo de soluciones sostenibles para la industria de la construcción. También muestran la posibilidad de utilizar subproductos industriales para reducir costos y aliviar las consecuencias ambientales.

Según, Arroyo (2021) En su tesis, "Mejoramiento en la subrasante incorporando cenizas volantes de carbón en la avenida Gallos en la urbanización Las Praderas, Lurín 2021". Para lograr este objetivo, se realizaron una serie de experimentos técnicos, entre ellos, granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR, los cuales permitieron definir el suelo de carbón en cantidades variables. En la técnica de investigación utilizada en el estudio se utilizó un enfoque cuantitativo y un nivel explicativo. La metodología se basó en un diseño de investigación cuasi experimental. Esta técnica permitió realizar una evaluación precisa, lo que permitió establecer una base sólida para el establecimiento de correlaciones entre los cambios en las características del material y los porcentajes de



incorporación de cenizas presentes. Los resultados alcanzados fueron significativos y acordes con los objetivos particulares planteados.. En segundo lugar, la Densidad Máxima Seca (DMS) también experimentó un aumento significativo, pasando de 1.757 g/cm³ a 1.828 g/cm³ manteniendo la misma dosis. Esto indica que el suelo se ha vuelto más compacto y es capaz de soportar mayores cargas. Por último, pero no menos importante, la prueba CBR demostró que hubo una mejora considerable en la capacidad de subrasante, como lo demuestra el hecho de que la resistencia del suelo aumentó de 27,3% a 31,8% al 95% de la DMS. En conclusión, la incorporación de cenizas volantes de carbón resultó. Además, abren el camino para futuras investigaciones que se centrarán en aumentar el uso de cenizas volantes en la rehabilitación de subrasantes y otras capas estructurales de pavimentos.

Según, Rimachi y Sánchez (2022) En su tesis "Incorporación de mucílago de tuna para el mejoramiento de las propiedades de la subrasante en Av. Los Olivos, Arequipa-2022". El presente trabajo de tesis, a partir de la aplicación de cenizas de carbón (C.H.) provenientes de ladrilleras artesanales, tuvo como objetivo principal conocer el de la AA. HH Los Ángeles, ubicada en el municipio de Lurigancho Chosica. Dado que el propósito de esta investigación es encontrar una aplicación práctica de los conocimientos técnicos para abordar determinadas problemáticas, se clasifica como un ejemplo de investigación aplicada. Los resultados de estas muestras se compararon con los de otras muestras que habían sido tratadas con diferentes porcentajes de cenizas de carbón (5%, 10% y 15%). Dado que el propósito del estudio fue interpretar y cuantificar la influencia físico-mecánica de la adición de cenizas de carbón en el mejoramiento de la subrasante, el enfoque principal del estudio fue cuantitativo y su alcance incluye una explicación del fenómeno en estudio. Cenizas de carbón produjo una reducción media considerable en los tres pozos de ensayo, como lo demuestran los resultados de los cálculos de límites de consistencia. En comparación con los valores iniciales de las muestras que no fueron tratadas, las reducciones típicas fueron del treinta y uno por ciento, setenta y uno por ciento e incluso



del cien por ciento, dependiendo de la proporción de cenizas que se utilizó. En consecuencia, esto demostró que las cenizas de carbón tuvieron un efecto beneficioso en la reducción de la flexibilidad del suelo, que es un factor que conduce el tratamiento creciente del suelo. De acuerdo con los resultados de las pruebas Proctor Modificado, que midieron el (OCH/MDS), se encontró que las variaciones en OCH fueron más bien menores, con aumentos que oscilaron entre 0,81% y 16,10% en comparación con la muestra de referencia. A la luz de esto, se puede deducir que adición de cenizas de carbón no modificó materialmente los parámetros que se requerían para lograr la mayor densidad seca posible. A pesar de esto, el desempeño del suelo no se vio afectado significativamente por este comportamiento. Por otra parte, las pruebas de CBR realizadas a las muestras que no habían sido tratadas y a las que habían sido tratadas con cenizas de carbón demostraron aumentos considerables en la capacidad portante del suelo circundante. Las mejoras porcentuales en CBR variaron de 7.27% a un asombroso 141.18%, y esto estuvo determinado por la proporción de cenizas que se aplicó. De acuerdo con los requisitos establecidos por el (MTC) y la norma C.E 010 Pavimentos Urbanos, el suelo tratado se clasifica como perteneciente a la categoría de subrasante buena (S3). Esta clasificación se basa en el hecho de que los suelos de subrasante buenos tienen valores de CBR que varían de octavo a diecisiete por ciento. En conclusión, se determinó que la absorción de 15% de cenizas de carbón resultó en la mayor mejora en los parámetros del suelo. Esta mejora incluyó una reducción total en el índice de plasticidad, así como un aumento considerable en la capacidad portante., aportando beneficios tanto técnicos como económicos en el contexto de la infraestructura vial peruana, como lo demuestra este estudio.

2.1.3 Antecedente de Ámbito Local

Según, Huancoillo (2017) estudia "Mejoramiento de suelo arcilloso con ceniza volante y cal para su uso como pavimento a nivel de afirmado en la carretera desvió Huancané – Chupa - Puno". Los suelos arcillosos, debido a su baja capacidad portante y



a su mala calidad, frecuentemente no cumplen con los estándares técnicos indispensables para su aplicación en proyectos de pavimentación. Por su tendencia a presentar problemas como excesiva flexibilidad, baja densidad y gran expansión cuando se someten a variaciones de humedad, este tipo de suelo no es adecuado para su uso en la construcción de infraestructura vial. Las cenizas volantes, por otro lado, son un subproducto que se produce en las plantas termoeléctricas. Se trata de un tipo de residuo industrial que, si no se elimina adecuadamente, puede causar problemas ambientales. Para los fines de esta investigación en particular, las cenizas volantes provienen de una planta termoeléctrica que se encuentra ubicada en Ilo, Estado Moquegua. El propósito de esta investigación fue investigar el potencial de este residuo para ser utilizado como estabilizador de suelos, en conjunto con la cal, con fin de mejorar las cualidades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos que se destinan al desarrollo de bases para caminos no pavimentados. Esto se hizo con el fin de reducir la influencia de los residuos en el medio ambiente y determinar una aplicación efectiva de los mismos. investigar el impacto que tienen sobre las propiedades de los suelos arcillosos diversos factores físicos y mecánicos, como el LL, el LP, la expansión y la DMS que se adquirió mediante el ensayo de cenizas volantes y cal, el estudio analizó estos parámetros. Al compararlos con el suelo en su forma natural, los resultados demostraron que la incorporación de estos estabilizadores produce una mejora considerable en las cualidades del suelo. En particular, se observó una disminución de la flexibilidad del suelo, un aumento de su densidad máxima seca y una mejora en su capacidad de carga, todo lo cual se representó en valores CBR más altos. Debido a estas mejoras, el suelo tratado ahora es más aceptable para su uso en la construcción de pavimentos, lo que está de acuerdo con los criterios técnicos que exigen las normas peruanas (EG-2013). Además, la investigación incluyó una evaluación económica para examinar la sostenibilidad financiera del empleo de cenizas volantes de carbón como estabilizador de suelos en proyectos de construcción de carreteras. Esto se realizó además del análisis técnico contenido en la investigación. Con base en los hallazgos, se determinó que esta alternativa no sólo es técnicamente factible, sino también económicamente



competitiva, ya que brinda una solución sostenible que maximiza el uso de los recursos y minimiza los gastos asociados con los materiales tradicionales. En conclusión, el uso de cenizas volantes de carbón y cal en suelos arcillosos es una opción eficiente que puede utilizarse para mejorar las cualidades del suelo y garantizar el cumplimiento de las restricciones técnicas que se encuentran actualmente en vigencia. Este enfoque, además de resolver problemas asociados con los residuos industriales, ayuda a la creación de infraestructuras viales que son más amigables con el medio ambiente y económicamente viables, por lo que se ha consolidado como una opción potencial para proyectos de pavimentación en el contexto del Perú.

Según, Gonzales (2018) tesis "Análisis experimental de suelos estabilizados con ceniza volante, cemento y cal para subrasante mejorada de pavimentos en la ciudad de Puno". En este estudio se evaluó la integración de diversas cantidades de cenizas volantes (6%, 16% y 26%) junto con 3% de cemento y 1% de cal con el fin de mejorar las cualidades mecánicas y físicas de un suelo natural derivado de una cantera situada en el área de "Mi Perú", que actualmente se encuentra en uso. El cemento sirvió como aglutinante adicional para reforzar la combinación y se utilizó cal para disminuir la flexibilidad del suelo. Las cenizas volantes fueron el estabilizador principal que se utilizó para lograr el resultado deseado de aumentar la resistencia del suelo. Con el fin de investigar el impacto que estas combinaciones tienen sobre el suelo, se incluyeron en las pruebas que se llevaron a cabo. Mediante la aplicación de estos ensayos se ha podido caracterizar tanto el suelo en su estado original como las mezclas estabilizadas, midiendo su comportamiento físico-mecánico y determinando en qué medida han mejorado sus cualidades. Con base en los resultados obtenidos se ha determinado que la incorporación de cenizas volantes, cemento y cal al suelo de cantera en las proporciones adecuadas ha supuesto una mejora considerable de las cualidades del suelo. En particular, el ensayo CBR ha revelado que se ha producido un aumento significativo de la capacidad portante a lo largo del experimento. En su forma original, el suelo presentaba un CBR del 46,10%, mientras que con la



combinación de 26% de cenizas volantes, 3% de cemento y 1% de cal, el CBR mejoró hasta el 97,20%, lo que supone una mejora tremenda. Los resultados de este estudio demuestran que la mezcla estabilizada en cuestión es aceptable para su uso en la construcción de pavimentos tanto como material de subrasante como de subbase. ha aumentado la densidad y la cohesión del material, lo que ha optimizado su comportamiento ante cargas repetidas y circunstancias ambientales variables. ha contribuido a la mejora global del material. En resumen, los hallazgos de este estudio indican que la utilización de cenizas volantes, cemento y cal para la estabilización de suelos es una solución viable, tanto técnica como económicamente, para mejorar las características de suelos de baja calidad. La combinación presentada no sólo cumple con los criterios técnicos de las normas vigentes, sino que también proporciona una solución sostenible y eficiente para proyectos de infraestructura vial, en particular en regiones con suelos arcillosos o de baja resistencia. Estos hallazgos proporcionan las bases para estudios adicionales que se realizarán en el futuro con el objetivo de ampliar el uso de estos estabilizadores en una variedad más amplia de suelos y en diferentes ubicaciones geográficas.

Según, Vargas (2020) En su Tesis "Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en el progresivo km 5+100 al 6+100 del tramo Asirumi – Rosaspata Huancané". La investigación se llevó a cabo con el fin de lograr este objetivo. Las cenizas volcánicas que se emplearon fueron recolectadas en el área circundante al volcán Sabancaya, que se encuentra en una región con una importante actividad volcánica y crea este material en enormes cantidades. Esta ubicación geográfica proporciona un recurso natural de fácil acceso para fines de investigación y aplicación. Inicialmente, el suelo arcilloso que se estaba investigando ofrecía características negativas para su uso en infraestructura vial debido a su alta plasticidad y capacidad de soporte limitada. Este suelo fue clasificado como CL según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), y fue clasificado como A-6 (9) de acuerdo con la metodología descrita por la Asociación Estadounidense de Oficiales de Transporte de Carreteras Estatales. Al



incorporar ceniza volcánica, se detectó una reducción considerable en el Índice de Plasticidad (IP), que pasó de 14,85% a 9,08%, y en la expansión, que pasó de 1,074% a 0,304%. Ambas reducciones se registraron. Como resultado de estas mejoras, la estabilidad volumétrica del suelo ha aumentado y su susceptibilidad a las fluctuaciones de humedad ha disminuido. Ambas características son esenciales para asegurar la longevidad de las construcciones viales. Con respecto a la capacidad portante, que se determinó mediante el ensayo CBR, los hallazgos revelaron una diferencia sustancial como consecuencia de la incorporación de ceniza volcánica. El CBR de la muestra de referencia fue de 4,58% cuando no se incluyeron cenizas en la mezcla. Este valor ascendió a 8,20% cuando se incluyó 15% de cenizas, a 11,75% cuando se incluyó 20% de cenizas y a 6,80% cuando se incluyó 25% de cenizas. Estos hallazgos indican que la mejor proporción de ceniza volcánica es del veinte por ciento, lo que se traduce en un aumento del 61,2 por ciento en el CBR en comparación con el suelo que no ha sido tratado. Como resultado de este grado de desarrollo, el suelo estabilizado ahora se considera una buena subrasante, según lo especificado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Esto significa que ha superado la categoría original de mala subrasante. En conclusión, el uso de ceniza volcánica no solo mejora las características físicas del suelo arcilloso, como su fluidez y expansión. Esto hace que la ceniza volcánica sea una solución realista, económica y sostenible para la consolidación de suelos en la construcción de carreteras, particularmente en lugares adyacentes a sitios volcánicos como Sabancaya, donde este material es de fácil acceso. Además, la ceniza volcánica es una alternativa muy económica. Además de sentar las bases para futuros estudios que ampliarán su uso en la ingeniería geotécnica y de pavimentos, la investigación abre la puerta a la perspectiva de investigar su aplicación en diversos tipos y situaciones de suelo.



2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Capacidad relativa de soporte (CBR)

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014), el ensayo para determinar el CBR está especificado en la norma MTC E 132 y es un procedimiento fundamental en la evaluación de suelos para proyectos viales. Este ensayo se realiza después de clasificar los suelos según los sistemas AASHTO y SUCS, y forma parte del análisis geotécnico requerido para caminos incluidos en el manual de diseño vial. El objetivo es elaborar un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo o tramo en estudio, a partir del cual se establece el programa de ensayos necesario para determinar el CBR, que es el valor de soporte o resistencia del suelo. Este valor está referido al 95% de la Máxima Densidad Seca (MDS) obtenida en el ensayo Proctor y a una penetración estándar de carga de 2.54 mm (MTC, 2014, p. 35).

Procedimiento para determinar el valor CBR de diseño

El MTC establece criterios específicos para calcular el CBR de diseño de la subrasante, dependiendo del número de valores de CBR disponibles y las características del suelo en el sector o tramo en estudio:

Sectores con 6 o más valores de CBR: Cuando se dispone de seis o más valores de CBR realizados sobre tipos de suelo representativos o secciones con características homogéneas, el valor de CBR de diseño se calcula como el promedio de todos los valores obtenidos en el sector correspondiente. Este promedio asegura una representación adecuada del comportamiento del suelo en el tramo analizado.

Sectores con menos de 6 valores de CBR: En sectores donde se dispone de menos de seis valores de CBR, el procedimiento varía en función de la similitud entre los valores:

- Si los valores son parecidos o similares, se toma el promedio de estos.
- Si los valores presentan variaciones significativas (no son similares), se considera el valor crítico (el más bajo) para garantizar un diseño conservador. Como alternativa, se puede subdividir la sección en subsectores más pequeños con características

homogéneas, agrupando los valores similares para calcular el promedio en cada subsector.

- Los subsectores creados no deben tener una longitud menor a 100 metros. Para determinar si los valores son parecidos o similares, se evalúan dentro de un rango específico de categoría de subrasante.

Clasificación de la subrasante por categoría: Esto se realiza en función de los rangos de valores establecidos en las especificaciones técnicas del MTC, que determinan si el suelo pertenece a una subrasante pobre, regular, buena, o excelente, dependiendo de su capacidad de soporte medida por el CBR.

Este procedimiento asegura que la caracterización de la subrasante sea representativa y confiable, lo que permite diseñar pavimentos de acuerdo con las condiciones específicas del terreno y garantizar la durabilidad de la infraestructura vial. Además, el enfoque adoptado por el MTC proporciona flexibilidad para manejar la variabilidad inherente de los suelos, asegurando diseños más eficientes y seguros en los proyectos viales del Perú.

Tabla 2

Categorías de subrasante

Categoría de Subrasante	CBR
S ₀ : Subrasantes inadecuadas	CBR < 3%
S ₁ : Subrasantes Pobres	3% ≤ CBR < 6%
S ₂ : Subrasantes Regulares	6% ≤ CBR < 10%
S ₃ : Subrasantes Buenas	10% ≤ CBR < 20%
S ₄ : Subrasantes Muy Buenas	20% ≤ CBR < 30%
S ₅ : Subrasantes Excelentes	CBR ≥ 30%

2.2.1.1. Estabilización de suelos

Según el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC (2014), la estabilización de suelos se define como el proceso de mejorar las propiedades físicas y

mecánicas de un suelo mediante la aplicación de diversos procedimientos, ya sean mecánicos o mediante la incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Este procedimiento es esencial en casos donde los suelos de subrasante presentan características inadecuadas o insuficientes para cumplir con los requerimientos estructurales de un pavimento. Ejemplos comunes de este tipo de estabilización incluyen las técnicas de suelo-cemento, suelo-cal, suelo-asfalto y otros productos estabilizantes.

La finalidad de la estabilización de suelos es dotarlos de una mayor resistencia mecánica, así como garantizar la permanencia de estas propiedades a lo largo del tiempo. Las técnicas de estabilización son diversas y pueden incluir la mezcla con otros tipos de suelos o la incorporación de agentes estabilizantes específicos. Independientemente del mecanismo empleado, el proceso debe ser seguido por una compactación adecuada para asegurar la efectividad del tratamiento.

Criterios recomendados por el MTC para la estabilización de suelos

El MTC establece una serie de criterios técnicos para decidir cuándo y cómo proceder con la estabilización de suelos en proyectos viales. Entre los más destacados se encuentran:

Aptitud de los materiales para subrasantes:

Se consideran aptos los suelos que presentan un CBR (California Bearing Ratio) igual o superior al 6%. En caso de que el CBR sea menor a este valor, el suelo será objeto de un estudio adicional para determinar si es viable estabilizarlo, mejorarlo o reemplazarlo completamente.

Protección contra la contaminación de capas granulares:

Cuando la subrasante esté compuesta por suelos arcillosos o limosos que, al humedecerse, puedan contaminar las capas granulares del pavimento debido a la migración de partículas, se deberá proyectar una solución de protección. Esto puede incluir:

La incorporación de una capa anticontaminante de al menos 10 cm de espesor, utilizando materiales que actúen como barrera entre la subrasante y las capas superiores.

La implementación de geotextiles como alternativa para evitar la contaminación y preservar la integridad estructural del pavimento.

Importancia de la estabilización de suelos

Esto se traduce en una mayor durabilidad, menor costo de mantenimiento y un mejor desempeño frente a las cargas repetidas de tránsito y las condiciones climáticas adversas. Además, el uso de técnicas de estabilización, como las descritas por el MTC, fomenta el uso eficiente de recursos naturales y materiales locales, reduciendo los costos asociados al transporte y minimizando el impacto ambiental.

En conclusión, la estabilización de suelos es un componente esencial en la construcción de infraestructuras viales, especialmente en proyectos donde las condiciones del suelo son inadecuadas. La correcta aplicación de estos criterios y técnicas garantiza la calidad, seguridad y sostenibilidad de los pavimentos, cumpliendo con los estándares establecidos por el MTC y promoviendo soluciones geotécnicas eficientes.

2.2.1.2. Metodos de estabilización

A continuación, se describen los principales métodos de estabilización de suelos recomendados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) en el "Manual de Carretera: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos". Estas técnicas buscan mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos para su uso en infraestructura vial y se presentan como referencia para su aplicación en esta investigación:

a) Estabilización mecánica de suelos

La estabilización mecánica se realiza sin alterar la estructura química del suelo, enfocándose en mejorar sus propiedades físicas mediante procesos como la compactación. Este método reduce el volumen de vacíos en el suelo, lo que incrementa su densidad, mejora la distribución de cargas, disminuye los asentamientos desiguales y reduce la contracción y dilatación en suelos arcillosos. Como resultado, se obtiene una mayor estabilidad estructural y resistencia a largo plazo. (RAVINES, Merino, 2010).

b) Estabilización con mezcla de suelos

Este método consiste en mezclar el suelo existente con materiales de préstamo para suplir deficiencias de gravas o arenas. La mezcla se realiza tras escarificar el suelo existente a una profundidad de 15 cm, añadiendo y homogeneizando el material de aporte hasta alcanzar una humedad adecuada para compactación. Posteriormente, se compacta la mezcla para cumplir con los requisitos de densidad y espesor establecidos en el proyecto. (MTC – Manual de Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2014. p. 98).

c) Estabilización por sustitución de los suelos

Se utiliza cuando el suelo existente no es apto para soportar las cargas proyectadas. Este método implica la remoción del suelo inadecuado y su reemplazo por material estabilizado. En algunos casos, también se escarifica y compacta la capa existente antes de construir la nueva subbase mejorada. (MTC – Manual de Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2014. p. 99).

d) Suelos estabilizados con cemento

La combinación de suelo y cemento genera una reacción química (acción puzolánica) que aumenta la resistencia de la mezcla. Este proceso implica la compactación del suelo con una cantidad óptima de agua, determinada mediante el ensayo Proctor modificado. La resistencia final dependerá del tipo y cantidad de suelo, cemento, agua, y el proceso de curado. Este método es ideal para suelos que requieren una mayor capacidad estructural. (MTC – Manual de Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2014. p. 102-103).

e) Estabilización con cloruro de sodio

Este método es eficaz en capas sin presencia de agua, ya que el cloruro de sodio puede ser fácilmente lavado por la lluvia. Funciona mediante un intercambio iónico entre el sodio y los minerales del suelo, lo que genera una acción cementante. Es adecuado para suelos con tránsito ligero y condiciones secas. (MTC –. 2014. p.104.)

f) Estabilización con cloruro de calcio

El cloruro de calcio se utiliza para mejorar la compactación y aumentar la resistencia del suelo. Este estabilizante, disponible en forma granular o en hojuelas, se aplica en



proporciones de 1% a 2% del peso del suelo a estabilizar. Es especialmente útil en suelos donde se requiere mejorar la resistencia con una compactación eficiente. (MTC –. 2014. p. 106).

g) Estabilización con cloruro de magnesio

El cloruro de magnesio es un estabilizante químico altamente efectivo, especialmente en zonas áridas. Este compuesto es higroscópico (absorbe humedad del ambiente), cohesiona partículas finas y es resistente a la evaporación, lo que permite mantener una superficie compactada y estable. Su dosificación varía entre 3% y 5% en peso del suelo seco, dependiendo del Índice de Plasticidad del suelo tratado. (MTC – Manual de Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2014. pp.106.)

h) Estabilización con productos asfálticos

La mezcla de suelos con productos asfálticos incrementa la estabilidad del suelo gracias a las propiedades aglomerantes del ligante, haciéndolo más impermeable y resistente a la humedad. Este método es más efectivo en suelos granulares con bajos niveles de finos (menos del 20% pasa la malla 200), baja plasticidad ($IP < 10$) y un límite líquido menor a 30. (MTC –. 2014. p. 107).

i) Estabilización de suelos con cal

El tratamiento con cal transforma químicamente los suelos inestables, haciéndolos más friables, menos plásticos y con mayor capacidad de soporte estructural. Además, mejora significativamente las propiedades mecánicas, permitiendo su uso en el diseño de pavimentos. Este método es ideal para suelos arcillosos y limosos con altos niveles de plasticidad. (NATIONAL LIME ASSOCIATION. 2006)

2.2.1.3. Caracterización de suelos para estabilizar

Según Fajardo y Vásquez (2014), Este análisis es fundamental para considerar aspectos como la sensibilidad, expansividad y deformabilidad del suelo, los cuales afectan directamente su comportamiento bajo cargas estructurales. La información detallada sobre el suelo permite no solo identificar problemas potenciales, sino también seleccionar



métodos de estabilización adecuados para garantizar la funcionalidad y seguridad de la infraestructura.

En la actualidad, autores como Torres et al. (2020) destacan la importancia de complementos analíticos más avanzados, como los ensayos triaxiales y de resistencia al corte, para obtener un perfil completo del suelo. Estas técnicas, combinadas con métodos tradicionales, mejoran la precisión en la identificación y diagnóstico de los problemas del suelo.

2.2.1.4. Técnicas de estabilización.

Fajardo y Vásquez (2014) clasifican las técnicas de estabilización en cuatro categorías principales: mecánicas, físicas, químicas e hidráulicas, cada una con métodos específicos que se adaptan a las características y necesidades del suelo.

1. Mecánicas:

Este método mejora las propiedades del suelo mediante procesos como compactación, consolidación o vibración, sin recurrir a reacciones químicas. La compactación aumenta la densidad del suelo, reduciendo vacíos y mejorando su capacidad de carga. Según Díaz et al. (2021), la compactación mecánica sigue siendo una técnica ampliamente utilizada debido a su simplicidad y efectividad, especialmente en suelos granulares.

2. Físicas:

Consiste en modificar la granulometría del suelo primitivo mediante la adición de materiales granulares, finos o ambos, mejorando así su estabilidad. La granularidad adecuada permite una mejor distribución de cargas y minimiza los riesgos de asentamientos diferenciales. Estudios recientes de Martínez y López (2023) han demostrado que la adición de grava y arena fina mejora significativamente las propiedades estructurales de suelos arcillosos.

3. Químicas:

Este método emplea estabilizantes químicos como asfalto, cemento, cloruro de sodio y cal para modificar las propiedades del suelo. La reacción química entre estos aditivos

y los componentes del suelo aumenta la cohesión, resistencia y durabilidad. Por ejemplo, el uso de cemento y cal ha sido ampliamente documentado como una solución eficaz para reducir la plasticidad y aumentar la resistencia de los suelos (Rodríguez et al., 2022).

4. **Hidráulicas:**

Se enfoca en el drenaje del subsuelo, mediante la instalación de elementos con mayor porosidad que el suelo existente, permitiendo la evacuación eficiente del agua. Este método es particularmente útil en suelos con alta saturación o zonas propensas a inundaciones. Según Gómez y Ramírez (2021), un sistema de drenaje bien diseñado no solo mejora la estabilidad del suelo, sino que también prolonga la vida útil de la infraestructura construida sobre él.

2.2.2 Ceniza de carbón

La ceniza de carbón vegetal es abundante en elementos vitales, como potasio, calcio, magnesio y fósforo, lo que la convierte en un fertilizante excepcional para el suelo. Su uso puede rectificar el pH del suelo, sobre todo en suelos ácidos, y también sirve como disuasivo natural para plagas y patógenos. Además, su elevado contenido en minerales facilita la rehabilitación de ecosistemas degradados al suministrar minerales esenciales que mejoran la vitalidad del suelo. (Huamaní, 2022)

Recientes investigaciones han explorado la aplicación de las cenizas de carbón vegetal como aditivo en la construcción. Las investigaciones indican que puede mejorar determinadas cualidades del hormigón; no obstante, su utilización requiere investigaciones adicionales para su optimización. (Arroyo, 2021)

2.2.2.1. Origen de la ceniza de carbón

Este procedimiento consiste en calentar el material sin oxígeno, eliminando así las sustancias químicas volátiles y la humedad, con lo que se obtiene un residuo denso en carbono. (Macías & Torres, 2018)

Carbonización: La ceniza se produce cuando la materia orgánica, incluida la madera o los restos vegetales, se somete a combustión. Durante la carbonización, la materia se descompone a temperaturas elevadas (unos 400-700 °C), emitiendo gases y reteniendo carbono.

Composición: Las cenizas de carbón vegetal se componen principalmente de sales minerales inorgánicas no combustibles. La composición mineral fluctúa en función del tipo de materia orgánica utilizada y de los parámetros del proceso de carbonización.

Aplicaciones históricas: Desde la antigüedad, varias culturas han utilizado el carbón vegetal y sus cenizas para numerosos fines, como la medicina, la arquitectura y la agricultura. Su aplicación en la fabricación de jabón se remonta al año 2800 a.C.

2.2.2.2. Clasificación de ceniza de carbón vegetal

La concentración de cenizas del carbón vegetal fluctúa en función de variables como la especie de madera utilizada y el procedimiento de fabricación empleado. El contenido de cenizas suele variar entre: (Huamaní, 2022)

- El 0,5% y más del 5% este rango depende de la cantidad de corteza incorporada y de la presencia de contaminación por tierra y arena.
- Aceptable, el carbón vegetal comercial de alta calidad posee una concentración de cenizas de aproximadamente el 3%; sin embargo, los niveles superiores al 6% se consideran desfavorables debido a la acumulación de residuos en los equipos.

Cenizas peligrosas: Estas cenizas poseen propiedades tóxicas o peligrosas que requieren un tratamiento especializado y una normativa estricta debido a sus posibles efectos perjudiciales. Aunque las cenizas de carbón vegetal no suelen considerarse peligrosas, es esencial evaluar su composición para confirmar la ausencia de concentraciones sustanciales de metales pesados u otros contaminantes.

Cenizas inertes: Se clasifican como materiales de desecho que no experimentan alteraciones fisicoquímicas sustanciales con el paso del tiempo en condiciones de eliminación estándar. Estas cenizas suelen ser respetuosas con el medio ambiente y no requieren una gestión especial.

Las **cenizas no especiales** son aquellas que pueden sufrir transformaciones pero que no se consideran perjudiciales según los estudios realizados, entre ellos los de la EPA estadounidense, que concluyeron que estas cenizas rara vez presentan características de toxicidad. (Arroyo, 2021)

2.2.2.3. Propiedades de la ceniza de carbón

De acuerdo con M.C. Alonso et al. (1995) la ceniza de carbón vegetal es un subproducto derivado de la carbonización de la madera y otros materiales botánicos. Este material posee múltiples atributos que lo hacen ventajoso en contextos agrícolas, medioambientales y de construcción:

Composición química y características físicas

La ceniza de carbón vegetal es abundante en elementos esenciales como potasio, calcio, fósforo, magnesio y boro. Estos nutrientes son vitales para el crecimiento de las plantas, especialmente el potasio, que favorece el desarrollo de las hojas y la resistencia a la sequía. (Choquecota, 2022)

La sustancia posee un pH alcalino, lo que permite su aplicación para rectificar suelos ácidos y mejorar así las condiciones para el crecimiento agrícola.

Residuos de ceniza: El contenido en cenizas del carbón vegetal puede oscilar entre el 0,5% y más del 5%, dependiendo de la especie de madera y de otros factores. El carbón vegetal de alta calidad suele contener aproximadamente un 3% de cenizas.

Aplicaciones agrícolas.

Fertilización: La ceniza sirve como fertilizante natural debido a su elevada concentración de nutrientes. No obstante, debe utilizarse con criterio para evitar el agotamiento del nitrógeno en el suelo.

Control de plagas: Su textura abrasiva y sus características repelentes disuaden a insectos perjudiciales, como caracoles, babosas y pulgones.

Aplicaciones en el sector medioambiental

Restauración de ecosistemas: Las investigaciones indican que las cenizas vegetales pueden contribuir eficazmente a la regeneración de suelos degradados mejorando su estructura y fertilidad.

Regulación térmica: En los procedimientos de forja, la ceniza sirve de aislante, desacelerando el enfriamiento del metal y facilitando un control más exacto de las características del material tratado.

Cualidades mecánicas en materiales de construcción

Estudios recientes indican que la adición de cenizas de carbón vegetal a los suelos cohesivos mejora sus propiedades mecánicas, aumentando así su estabilidad y resistencia. Se ha registrado una notable mejora del índice de plasticidad (IP) y del valor del (CBR) con la incorporación de un 15% de ceniza al suelo. (Choquecota, 2022)

Ventajas suplementarias

Desodorización y purificación: Debido a su importante capacidad de adsorción, la ceniza puede desodorizar eficazmente las zonas y purificar los ambientes absorbiendo venenos y contaminantes.

Supresor orgánico: La ceniza puede servir como eficaz supresor de incendios menores al eliminar el oxígeno necesario para la combustión.

2.2.3 Subrasante

Es la capa más profunda de la estructura de un pavimento y constituye el soporte principal sobre el cual se distribuyen las cargas transmitidas desde la superficie. Sus propiedades físicas y mecánicas son determinantes para garantizar la estabilidad y durabilidad de la infraestructura vial. En esta sección se presentan los conceptos clave y fundamentos teóricos relacionados con la subrasante, en el marco de su comportamiento, evaluación y mejoramiento.

Según Rodríguez et al. (2022), la calidad de la subrasante depende de factores como su capacidad de soporte, permeabilidad, sensibilidad a la humedad y estabilidad volumétrica. Un suelo de subrasante adecuado debe presentar características mecánicas

que permitan resistir deformaciones excesivas y proporcionar una base uniforme para las capas superiores.

2.2.3.1 Propiedades de la Subrasante

Capacidad de Soporte: Utilizado para evaluar la capacidad de soporte de una subrasante. Según el MTC (2014), un CBR $\geq 6\%$ es considerado apto para su uso en subrasantes, mientras que valores inferiores requieren estabilización o reemplazo.

Plasticidad: La plasticidad del suelo, medida a través de los límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico), es un indicador clave de la trabajabilidad y estabilidad del suelo. Suelos con (IP) son propensos a la contracción y expansión, lo que puede generar grietas o deformaciones en el pavimento.

Densidad y Compacidad: Son fundamentales para asegurar la compactación adecuada de la subrasante. Una compactación insuficiente puede resultar en asentamientos diferenciales y fallas prematuras del pavimento (Díaz et al., 2021).

2.2.3.2 Comportamiento de la Subrasante

El comportamiento de la subrasante está influenciado por factores internos (como la composición del suelo) y externos (como las condiciones climáticas y la carga vehicular). Según Gómez y Ramírez (2021), los suelos arcillosos son particularmente susceptibles a variaciones en contenido de humedad, lo que afecta negativamente su capacidad de soporte y estabilidad.

2.2.3.3 Mejoramiento de la Subrasante

Cuando una subrasante no cumple con los requisitos técnicos, es necesario implementar técnicas de mejoramiento. Entre las más comunes se encuentran:

Compactación Mecánica: La compactación aumenta la densidad del suelo, reduciendo vacíos y mejorando su capacidad de carga. Es una técnica básica pero eficaz para mejorar suelos con deficiencias menores. (Rodríguez et al., 2022).

Reemplazo del Suelo: Cuando el suelo es inadecuado y no puede ser mejorado, se reemplaza por materiales más adecuados, como gravas o suelos estabilizados.

2.2.3.4 Normativa Aplicable

El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC (2014) establece los lineamientos para evaluar y clasificar la subrasante. Entre los criterios principales se incluyen:

- Un CBR \geq 6% para considerarse apto.
- El uso de estabilización química o mecánica para mejorar subrasantes con valores inferiores a este umbral.
- La incorporación de capas anticontaminantes o geotextiles en suelos arcillosos para evitar la migración de partículas a las capas superiores.

2.2.4 Afirmado

Esta capa es crucial en la construcción de carreteras y autopistas, ya que sirve de superficie de apoyo y requiere una gradación precisa para garantizar la cohesión entre las partículas de material. (Moyano, 2020)

2.2.4.1. Función del afirmado

El afirmado ofrece una base sólida que distribuye uniformemente las cargas del tráfico, reduciendo así la probabilidad de deformación y daños en la superficie. Se utiliza habitualmente en la rehabilitación de carreteras para «rellenar huecos» y mejorar la transitabilidad. (Moyano, 2020)

2.2.4.2. Características del afirmado

Entre los materiales comúnmente utilizados se encuentran la grava, la arena y los finos. (Moyano, 2020)

El índice de plasticidad de los materiales empleados en el pavimento no suele superar 9, aunque puede llegar a 12 con una razón técnica adecuada.

Categorías de afirmados:

Tipo 1: Para carreteras con un volumen de tráfico mínimo (hasta 50 vehículos al día).

Tipo 2: Aplicable para volúmenes de tráfico comprendidos entre 51 y 100 vehículos al día.

Tipo 3: Aplicable para volúmenes de tráfico comprendidos entre 101 y 200 vehículos al día.

Tipo 4: Aplicable para un volumen de tráfico que oscile entre 201 y 400 vehículos al día.

2.2.5 Suelos

El suelo es una mezcla natural de partículas minerales, materia orgánica, agua y aire, producto de la desintegración y descomposición de rocas madre a través de procesos físicos, químicos y biológicos (Das et al., 2022). Su clasificación y análisis son fundamentales, ya que sus propiedades influyen directamente en la estabilidad y durabilidad de las estructuras.

2.2.5.1 Propiedades del Suelo

El comportamiento del suelo está determinado por sus atributos físicas, químicas y mecánicas, que se evalúan mediante una variedad de ensayos.

Propiedades Físicas

Granulometría: Este ensayo permite clasificar el suelo y evaluar su capacidad de drenaje y compactación.

Tabla 3

Clasificación del tamaño de partículas

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

Contenido de Humedad: Mide la cantidad de agua presente en el suelo. Es crucial para determinar su plasticidad, cohesión y resistencia al esfuerzo cortante.

Límites de Atterberg: Incluye el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, que reflejan el rango de consistencia del suelo. Estos parámetros son especialmente relevantes en suelos arcillosos (Braja, 2021).

Tabla 4

Clasificación de suelos según IP.

IP	Plasticidades	Características
IP>20	Altas	Suelos muy arcillosos
7<IP<20	Medias	Suelos arcillosos
IP<7	Bajas	Suelos poco arcillosos
IP=0	No Plástico (NP)	Suelos libres de arcilla

Según su clasificación

Tabla 5

Clasificación Tipo de suelos.

AASHTO M-145	ASTM-D-2487
A-1-a	GM, SW, SP, GW, GP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	SM, SC, GM, GC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

2.2.6 Pavimentos

Las capas superpuestas que forma la superficie de rodadura de una vía. Su principal función es soportar y distribuir las cargas del tránsito hacia el suelo subyacente, minimizando las deformaciones y garantizando un tránsito seguro y eficiente. Según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC (2014), los

pavimentos pueden clasificarse en flexibles, rígidos y adoquinados, dependiendo del tipo de materiales utilizados y su comportamiento estructural.

El pavimento se conforma por la siguiente manera:

Figura 1

Componentes del pavimento



2.2.6.1 Tipos de Pavimentos

Pavimento Flexible

Se caracteriza por su flexibilidad y capacidad para adaptarse a las deformaciones del suelo subyacente. Está compuesto por capas granulares y una carpeta asfáltica como capa superior. La resistencia de este tipo de pavimento depende de la calidad de cada capa y su capacidad para distribuir las cargas.

Pavimento Rígido

Está formado por losas de concreto hidráulico, las cuales poseen una mayor rigidez y capacidad para distribuir cargas sobre un área más amplia. Su durabilidad es mayor que la de los pavimentos flexibles, aunque requiere un diseño más complejo y un costo inicial más elevado (Gómez & Ramírez, 2021).

Pavimento Adoquinado

Consiste en piezas individuales de material pétreo, concreto o arcilla, dispuestas sobre una base granular. Este tipo de pavimento es adecuado para áreas de bajo tráfico o zonas urbanas con valor histórico.

2.2.6.2 Componentes de un Pavimento

Los pavimentos están constituidos por varias capas, cada una con funciones específicas:

Capa de Rodadura: Es la capa superficial que entra en contacto directo con los vehículos. Proporciona una superficie lisa, segura y resistente al desgaste.

Base y Subbase: Estas capas granulares distribuyen las cargas hacia la subrasante y contribuyen a la estabilidad estructural del pavimento.

Subrasante: Constituye la base natural del pavimento. Sus propiedades determinan en gran medida el diseño y comportamiento del pavimento (MTC, 2014).

2.2.6.3 Propiedades del Pavimento

Capacidad de Soporte: se mide a través del índice de soporte de California (CBR). Un mayor CBR indica una mejor capacidad para soportar las cargas vehiculares.

Resistencia al Desgaste: La resistencia de la capa de rodadura al desgaste causado por el tránsito es un parámetro crítico para la durabilidad del pavimento.

Permeabilidad: La capacidad de las capas para permitir el paso del agua es fundamental para evitar daños por saturación.

Durabilidad: La durabilidad depende de la resistencia de los materiales a los efectos del tránsito, el clima y el tiempo.

2.2.6.4 Ensayos en Pavimentos

Para evaluar las propiedades y el desempeño de los pavimentos, se realizan ensayos específicos:

Ensayo Marshall: Determina la estabilidad y flujo de las mezclas asfálticas, evaluando su comportamiento bajo carga (Rodríguez et al., 2022).

Prueba de Fatiga: Mide la resistencia de los materiales del pavimento a cargas repetidas, estimando su vida útil.

Ensayo de Permeabilidad: Evalúa la capacidad del pavimento para resistir el ingreso de agua y prevenir fallas por saturación.

Prueba de Resistencia al Desgaste (Los Ángeles): Determina la resistencia de los agregados al desgaste, un factor clave para la durabilidad de la capa de rodadura.

Deflectometría (FWD): Mide la capacidad estructural del pavimento mediante el análisis de la deflexión bajo cargas controladas (Torres et al., 2021).

Ensayo de CBR: Utilizado para evaluar la capacidad de soporte de las capas subyacentes, como la subrasante, subbase y base.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Subrasante:

La subrasante se define como la superficie terminada de la carretera, ubicada al nivel del movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se instala la estructura del pavimento o afirmado. Es un elemento fundamental que proporciona soporte a las capas superiores del pavimento (MTC, 2018, p. 21).

2.3.2 Suelos:

El suelo puede definirse como el material mineral no consolidado presente en la superficie de la corteza terrestre, formado por procesos de desintegración y descomposición de rocas y sometido a la influencia de fenómenos genéticos y ambientales.

2.3.3 CBR (California Bearing Ratio):

Es un índice relativo de la capacidad de soporte de un suelo o material granular, determinado mediante la penetración de una carga estándar en una masa de suelo compactado. Este ensayo es fundamental en el diseño de pavimentos (MTC, 2018, p. 7).

2.3.4 Resistencia a la Compresión:

Según Terzaghi, la resistencia a la compresión es una propiedad esencial de los suelos y materiales de construcción. Se evalúa mediante pruebas de compresión uniaxial y triaxial para determinar la capacidad del material de resistir cargas axiales, siendo un indicador clave en el análisis geotécnico.



2.3.5 Análisis Granulométrico:

Es el procedimiento que determina la granulometría de un material mediante una evaluación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas. Este análisis es crucial para clasificar suelos y evaluar su comportamiento bajo carga (MTC, 2018, p. 4).

2.3.6 Límite Líquido:

Este parámetro permite evaluar la plasticidad del suelo y su capacidad para deformarse sin fracturarse (MTC, 2018, p. 15).

2.3.7 Límite Plástico:

Es el contenido de agua del suelo que define la transición entre su estado plástico y semisólido. Junto con el límite líquido, forma parte de los límites de Atterberg, usados para clasificar y evaluar suelos cohesivos (MTC, 2018, p. 15).

2.3.8 Máxima Densidad Seca:

Se refiere al mayor valor de densidad seca alcanzado por un suelo en una curva de compactación, determinado para un esfuerzo de compactación específico (estándar o modificado). (MTC, 2018, p. 16).



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño de la investigación

Este plan incluye la definición de la pregunta de investigación, la selección del tipo de estudio, el diseño del estudio y la metodología específica para llevar a cabo la investigación. (Hernandez & Baptista, 2014). El diseño del estudio será experimental, porque se le incorporará la ceniza de carbón y se determinará nuevos valores en las propiedades mecánicas del suelo.

3.2 Método de la investigación

El método de investigación se define como un conjunto de pasos que se utilizan para llevar a cabo estudios de casos. Entre estas técnicas se encuentra el estudio sistemático de datos recopilados a partir de diversas fuentes de evidencia (por ejemplo, entrevistas, observaciones y análisis de documentos) con el fin de extraer conclusiones. (Cegara, 2019, pág. 82). Debido al enfoque metódico adoptado para identificar y analizar los numerosos contextos en los que surgen los temas bajo investigación, la metodología de investigación será de carácter científico.



3.3 Nivel y tipo de la investigación

3.3.1 Nivel de la Investigación

En términos de exploración, descripción y explicación. Los estudios exploratorios investigan áreas donde se conoce poco, los descriptivos proporcionan un panorama detallado de situaciones o eventos, y los explicativos buscan identificar causas y efectos. (Cegara, 2019, pág. 82). El nivel del estudio es explicativo, porque se realizará una causa y efecto tras la aplicación de la ceniza de carbón.

3.3.2 Tipo de la investigación

La metodología, el objetivo y los métodos empleados para resolver un problema determinado permiten la clasificación de la investigación, lo que a su vez establece el carácter y el alcance del estudio. (Hernández & Baptista, 2014). Este trabajo corresponde a una investigación aplicada, ya que se centra en el análisis de datos y parámetros orientados al diseño y mejoramiento de subrasantes, con el propósito de garantizar su implementación efectiva en proyectos de infraestructura vial.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

La población de investigación abarca el total de elementos que se estudiarán, como individuos, objetos o fenómenos relacionados con el tema de análisis (Hernández & Baptista, 2014, p. 174). La población conforma por vías o carreteras con afirmados deteriorados y subrasante inestables en la región de Puno.

3.4.2 Muestra

Es una parte representativa de la población seleccionada para su análisis en un estudio (Hernández & Baptista, 2014, p. 173). En este caso, la muestra consistió en el afirmado de la carretera Huatasani - Munaypa, donde se realizaron tres calicatas. En estas

calicatas se aplicaron diferentes proporciones de ceniza de carbón (6%, 12% y 18%) al material de subrasante, con el objetivo de evaluar sus propiedades y comportamiento.

3.5 Técnicas e instrumentos de investigación.

3.5.1 *Técnicas de la Investigación*

Los procesos de investigación engloban una serie de estrategias estructuradas y precisas diseñadas para recopilar, procesar, analizar e interpretar datos relevantes que permitan alcanzar los objetivos de un estudio. Estas estrategias incluyen métodos variados como observaciones directas, análisis de datos experimentales, entrevistas, encuestas y otros enfoques adaptados al tipo de investigación (Suárez et al., 2022). Para este trabajo, se emplearon técnicas específicas para abordar las características y condiciones de la subrasante en estudio:

Observación Sistemática: Esta técnica se utilizó para identificar las propiedades del suelo de la subrasante, permitiendo registrar mediciones directas y precisas mediante un enfoque estructurado. Durante este proceso, se realizaron inspecciones detalladas y se emplearon instrumentos de medición adecuados para garantizar la fiabilidad de los datos. Este enfoque no solo facilitó la evaluación inicial del terreno, sino que también ayudó a establecer parámetros base para el análisis posterior.

Procesamiento y Organización de Información: Este paso fue fundamental para sintetizar grandes volúmenes de información, asegurando que los datos sean comprensibles y listos para su análisis. Métodos como la codificación, tabulación y representación gráfica se aplicaron para estructurar la información de manera clara.

Análisis e Interpretación de Resultados: Una vez procesados, los datos fueron sometidos a un análisis exhaustivo para identificar patrones, relaciones y comportamientos relevantes. Este paso incluyó la comparación de resultados con estándares establecidos y la interpretación crítica de los hallazgos en función de los objetivos de la investigación. Este proceso no solo permitió validar las hipótesis iniciales, sino también obtener conclusiones útiles para la aplicación práctica de los resultados.

3.5.2 Instrumentos de la Investigación

Los instrumentos de investigación son herramientas esenciales que utilizan los investigadores para recopilar datos de forma sistemática y organizada. Permiten garantizar que los datos sean válidos, fiables y pertinentes para los objetivos del estudio. La selección de estos instrumentos es un aspecto crítico en cualquier investigación, ya que determina la precisión y consistencia de los resultados, tal como señalan Hernández et al. (2014). Para este estudio, se utilizaron los siguientes instrumentos:

Fichas de Recolección de Datos en el Campo: Estas fichas fueron diseñadas específicamente para documentar las observaciones y mediciones realizadas en el terreno. Incluyeron parámetros clave como características del suelo, ubicación de las calicatas y datos iniciales sobre las condiciones de la subrasante. Este instrumento permitió registrar información de manera inmediata y detallada durante las visitas al campo.

Formatos Laboratorio: Los formatos incluyeron campos predefinidos para registrar valores de límites de consistencia, densidad seca, CBR, entre otros parámetros, asegurando la uniformidad y trazabilidad de los datos analizados.

Certificados de Control de Calidad de Laboratorio: Los certificados emitidos por los laboratorios acreditados proporcionaron garantías sobre la precisión y confiabilidad de los ensayos realizados. Estos documentos sirvieron como respaldo técnico, validando los procedimientos y los resultados obtenidos durante las pruebas de materiales.

Software de Análisis de Datos: Se emplearon programas especializados para procesar y analizar los datos recolectados, permitiendo realizar cálculos precisos, generar gráficos y comparar resultados de manera eficiente. El uso de software facilitó la interpretación de los datos y la generación de conclusiones fundamentadas.

3.6 Proceso para la recolección de datos

3.6.1 Desarrollo del Plan de Investigación

Fase I. Búsqueda: Es de suma importancia ya que implicara reunir recursos relevantes y fuentes confiables que respaldaran el desarrollo de la investigación.

Fase II. Ubicación de la carretera: Siguiendo las pautas establecidas por el MTC, determinaremos la posición precisa de los pozos de prueba de los cuales se tomarán las muestras. Se estableció una regla para nuestro proyecto de investigación vial que requería que realizáramos un pozo de prueba por cada kilómetro. Esta regla se estableció de acuerdo con los estándares que describió el MTC. Una investigación exhaustiva de los parámetros del suelo en ese sitio específico fue el objetivo detrás de la excavación de cada uno de estos pozos de prueba a una profundidad de 1,5 metros.

Figura 2

Ubicación del tramo

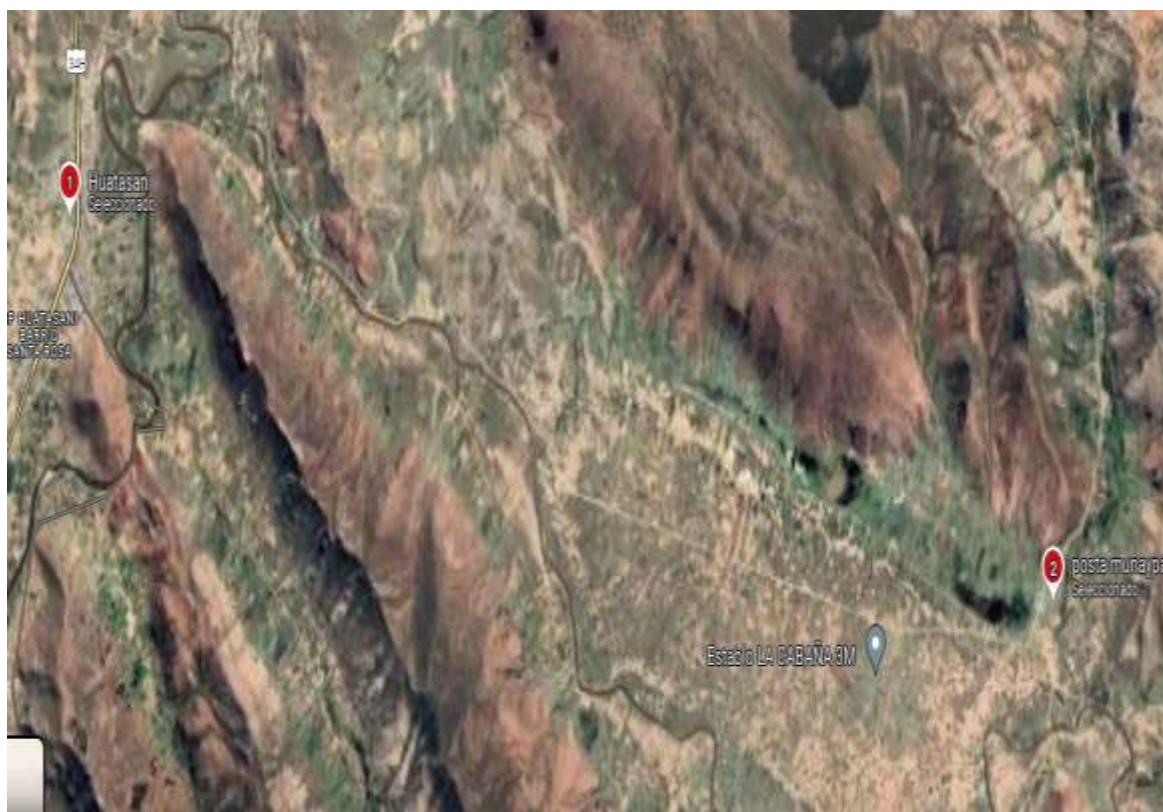


Tabla 6*Tramo de pozos de exploración*

Muestras	Tramo	Km
1	0+000 – 1+500	1+500
2	1+500 – 3+000	3+000
3	3+000 – 4+500	4+500

La tabla indica la información de las calicatas que se tomaron en cuenta en la carretera Huatasani – Munaypa, donde se indican los tramos de la investigación.

Fase III. Toma de muestras: En el contexto de la tabla mostrada podemos afirmar que es el proceso de extraer porciones de material del suelo en diferentes ubicaciones específicas a lo largo del tramo indicado. Las calicatas son obtenidas en puntos estratégicos según lo indicado por el MTC y en ambos lados como se aprecia en la tabla.

Equipos utilizados:

- **Bolsas:** Es usada para almacenar y transportar pequeñas cantidades de material recogido del sitio de excavación.
- **Saquillos:** Son sacos más grandes que será para almacenar y contener volúmenes mayores de suelos y otros materiales recolectados de las calicatas.
- **Palas:** Es la herramienta manual utilizada para excavar el suelo y recolectar las muestras de las calicatas.
- **Marcador de progresiva:** Es un instrumento de suma importancia ya que será utilizado para señalar la progresiva o distancia en el terreno, ayudando a ubicar exactamente los puntos donde se toman las muestras.

Fase IV. Obtención escorias de carbón: Es un subproducto que se genera después de la combustión del carbón en hornos destinados a la cocción de comida (restaurantes, pollerías y demás).

Figura 3*Ceniza de carbón***FASE VI. Ensayos de laboratorio:****1. ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO:**

Este análisis se realiza generalmente en dos partes: tamizado para las partículas gruesas (arena y grava) y sedimentación para las partículas finas (limo y arcilla).

Procedimiento:

- Secar en un horno.
- Enfriar y pesar.
- Colocar los tamices en orden
- Verter la muestra en el tamiz superior y tamizar durante 10-15 minutos (manual o mecánicamente).
- Pesar el material retenido en cada tamiz y registrar los datos.
- Calcular el porcentaje de material retenido y acumulado en cada tamiz, así como el porcentaje que pasa por cada abertura.
- Trazar la curva granulométrica.

2. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD:

El ensayo de contenido de humedad es fundamental para determinar la cantidad de agua presente en una muestra de suelo. La humedad del suelo influye significativamente en sus propiedades mecánicas y de compactación.

Procedimiento:

- Pesar limpio y seco con tapa. Registrar este peso.
- Colocar aproximadamente 100 gramos de la muestra de suelo. Pesar la muestra y registrar el peso.
- Destapar el recipiente y colocar el conjunto (recipiente y muestra) en el horno a una temperatura constante de 105-110°C durante al menos 24 horas, o hasta que el peso sea constante (lo que indica que se ha eliminado toda el agua).
- Retirar el recipiente del horno usando pinzas o guantes térmicos y colocarlo en un desecador para enfriar a temperatura ambiente (esto previene la absorción de humedad del aire). Si no se dispone de un desecador, dejar enfriar en un ambiente seco.
- Una vez que la muestra y el recipiente estén a temperatura ambiente.

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

3. ENSAYO DE LÍMITES:

Se utiliza para identificar las propiedades relacionadas con el contenido de agua en una muestra de suelo. Este ensayo determina dos valores clave: el límite líquido (LL), que es el contenido de agua donde el suelo pasa de un estado plástico a uno líquido, y el límite plástico (PL), que es el contenido de agua donde el suelo pasa de un estado semisólido a uno plástico. Estos valores son esenciales para clasificar el suelo y entender cómo se comporta en diferentes condiciones de humedad, ayudando a predecir su estabilidad y resistencia.

Procedimiento para determinar el (LL):

- Muestra representativa de suelo seco y pasarla por un tamiz de 0.425 mm (No. 40).



- Mezclar la muestra tamizada con agua destilada hasta obtener una pasta homogénea.
- Colocar la taza de Casagrande, llenándola hasta una profundidad de 1 cm.
- 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.
- Repetir el procedimiento variando el contenido H₂O
- Registrar el número de golpes y el contenido de agua correspondiente para cada prueba.
- Determinar el contenido de agua correspondiente a 25 golpes en la gráfica, este es el límite líquido (LL).

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

Procedimiento para determinar el (LP):

- Tomar una porción de muestra de seco y tamizado a través de un tamiz de 0.425 mm (No. 40).
- Mezclar con agua destilada hasta formar una masa plástica.
- Tomar una porción de la masa y amasarla en la palma de la mano para formar un rollo de unos 3 mm de diámetro.
- Colocar el rollo sobre la placa de vidrio y usar el rodillo para reducir su diámetro a 3 mm.
- Continuar el proceso hasta que el rollo se desmorone en pedazos de 3 mm de diámetro.
- Recoger y pesar los pedazos. Secar en un horno a 105-110°C hasta obtener un peso constante.
- Registrar el peso del suelo seco.
- El 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):



$$IP = LL - LP$$

4. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO:

Permite conocer la relación entre el nivel de humedad y la densidad seca de la tierra compactada. Para realizar esta evaluación se utilizan determinados escenarios de estrés. La compactación del suelo sólo se puede realizar con la mayor densidad seca y contenido de humedad posibles, por lo que esta prueba es crucial para los proyectos de construcción.

Procedimiento:

- Se toma una muestra representativa del suelo a ensayar y se seca hasta alcanzar un contenido de humedad constante.
- Luego, se divide en varias porciones, generalmente cinco, para ser compactadas con diferentes contenidos de humedad.
- Cada porción se mezcla con una cantidad determinada de agua para obtener diferentes niveles de humedad.
- El suelo se coloca en un molde estándar y se compacta en cinco capas.
- Tras la compactación, se mide el volumen del suelo y se determina su masa.

5. ENSAYO DE CBR:

El ensayo CBR (California Bearing Ratio) es una prueba de penetración que se realiza en suelos y materiales granulares para evaluar su resistencia y capacidad de soporte bajo condiciones controladas.

Procedimiento:

- Secar en horno.
- Mezclar la muestra con agua.
- Engrasar ligeramente el interior del molde CBR.
- Colocar el molde en una base sólida y plana.



- Después de compactar la quinta capa, nivelar la superficie del suelo compactado con una regla metálica o calibrador.
- Colocar una placa de base perforada en la parte inferior del molde.
- Saturar la muestra durante 96 horas, si es necesario, para simular las condiciones de humedad en el campo.
- Colocar un collarín perforado en la parte superior del molde y aplicar una carga de sobrecarga para simular el peso de la construcción (normalmente se utiliza un peso de 4.54 kg).
- Colocar el molde CBR con la muestra compactada en la máquina de carga.
- Colocar el punzón del penetrómetro.

3.8.3 Procesamiento y Análisis de datos

En esta etapa la fase en la que se convierte la información recopilada en conocimiento útil mediante el uso de técnicas especializadas. La clave radica en aplicar métodos que permitan obtener el significado oculto en los datos iniciales.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

El proceso de mejora de las propiedades mecánicas del suelo mediante la incorporación de la ceniza de carbón se llevó a cabo de acuerdo con los objetivos establecidos, obteniéndose los siguientes resultados:

Para el desarrollo de los objetivos se desarrolló los siguientes aspectos:

A. Contenido de Humedad

Tabla 7

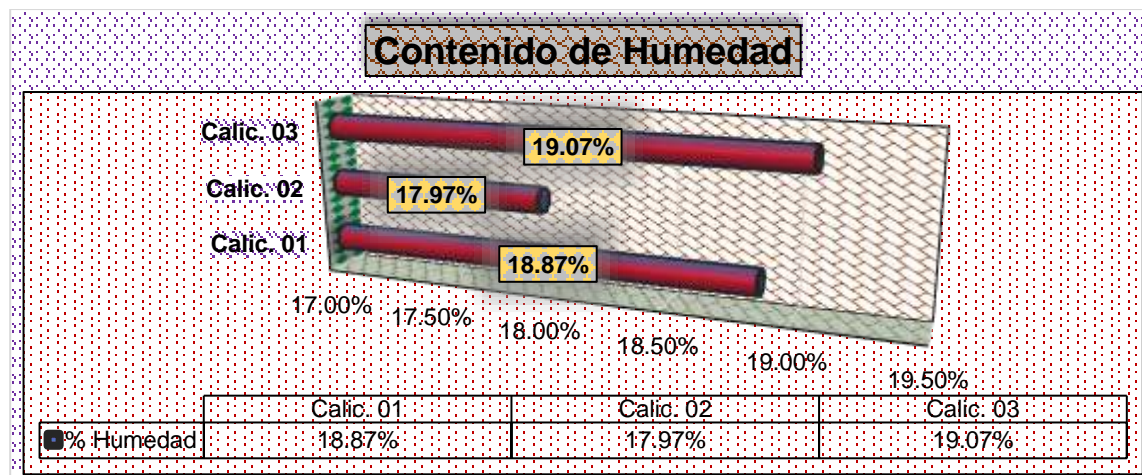
Contenido de humedad de las calicatas

CONTENIDO DE H ₂ O	
MUESTRAS	HUMEDAD (%)
Calic. 1	18.87%
Calic. 2	17.97%
Calic. 3	19.07%
Media	18.64%

El desenlace detalla las respuestas obtenidas sobre los % de humedad de las calicatas desarrolladas, obteniendo una media de 18.64%.

Figura 4

Contenido de humedad de las calicatas



El desenlace detalla las respuestas obtenidas sobre los contenidos de humedad de las calicatas desarrolladas, obteniendo una media de 18.64%.

B. Granulometría

□ Granulometría M-1

Tabla 8

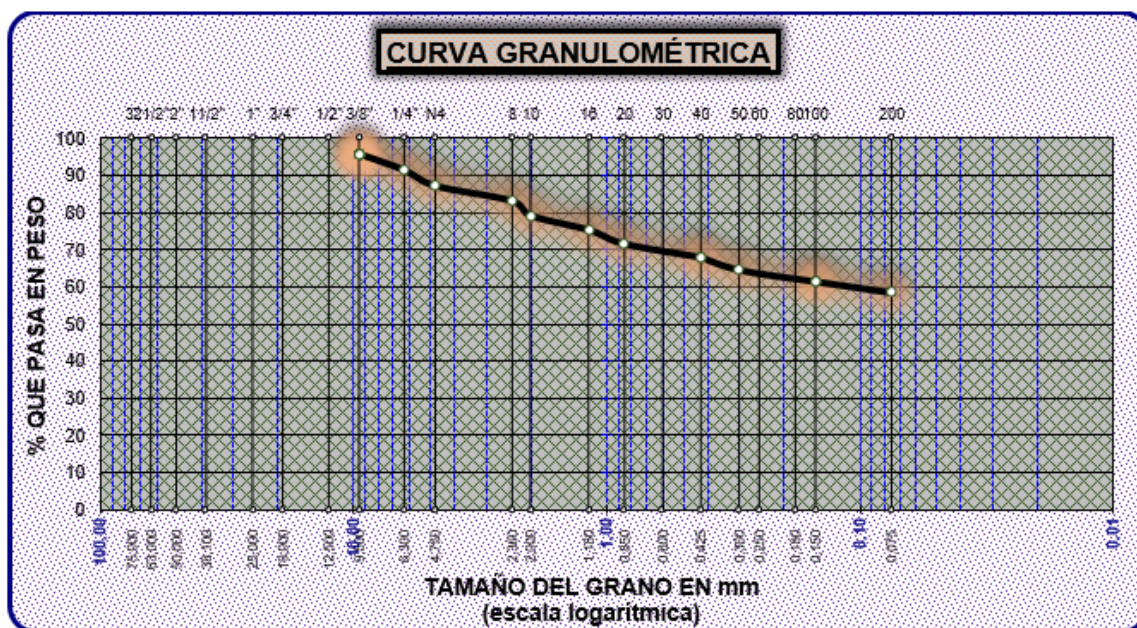
Granulometría de la Calic. 01

MALLA	PESO	%RET.	%RET.	% QUE
ASTM	RET.	PARCIAL	ACUMUL	PASA
3/8"	110.54	4.42	4.42	95.58
1/4"	108.49	4.34	8.76	91.24
No4	106.48	4.26	13.02	86.98
No8	101.38	4.06	17.08	82.92
No10	98.43	3.94	21.01	78.99
No16	96.71	3.87	24.88	75.12
No20	94.38	3.78	28.66	71.34
No30				
No40	89.84	3.59	32.25	67.75
No 50	86.49	3.46	35.71	64.29
No60				
No80				
No100	77.29	3.09	38.80	61.20
No200	75.19	3.01	41.81	58.19
BASE	1454.78	58.19	100.00	0.00
TOTAL	2500.00	100.00		
% PERDIDA	58.19			

El desenlace detalla los análisis granulométricos obtenidos de la calicata 1.

Figura 5

Granulometría de la Calic. 01



El desenlace detalla la curva granulométrica obtenida C-1.

□ **Granulometría M-2**

Tabla 9

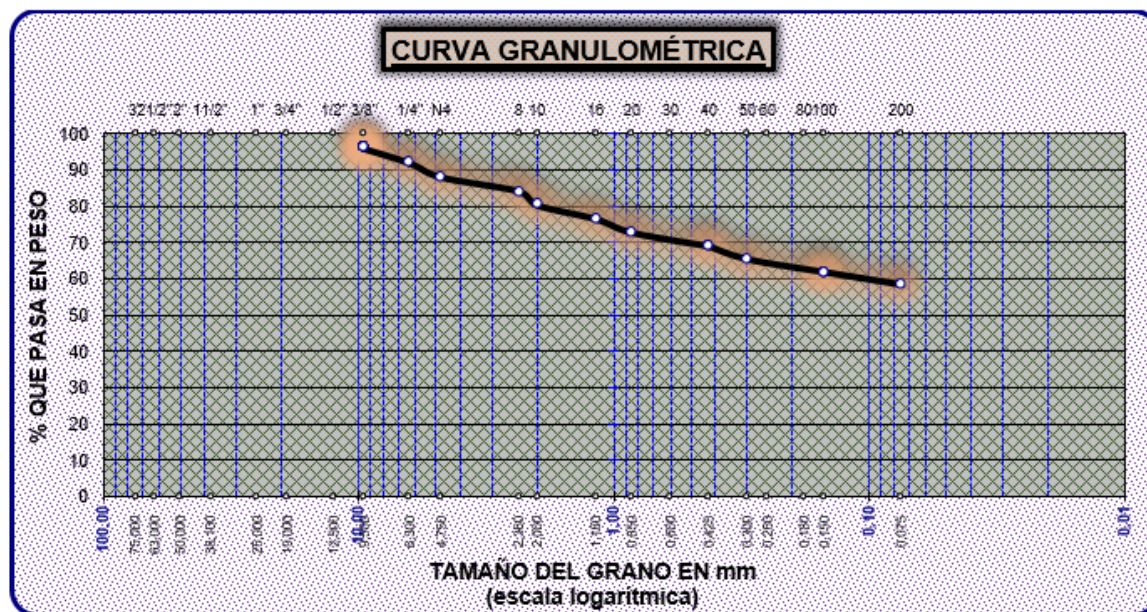
Granulometría de la Calic. 02

MALLA	PESO	%RET	%RET	% QUE
ASTM	RET	PARCIAL	ACUM.	PASA
3/8"	100.00	4.00	4.00	96.00
1/4"	99.15	3.97	7.97	92.03
No4	97.48	3.90	11.87	88.13
No8	96.78	3.87	15.74	84.26
No10	96.17	3.85	19.58	80.42
No16	94.99	3.80	23.38	76.62
No20	94.27	3.77	27.15	72.85
No40	93.21	3.73	30.88	69.12
No 50	90.08	3.60	34.49	65.51
No100	88.46	3.54	38.02	61.98
No200	86.43	3.46	41.48	58.52
BASE	1462.98	58.52	100.00	0.00
TOTAL	2500.00	100.00		
% PERDIDA	58.52			

El desenlace detalla los análisis granulométricos obtenidos de la calicata 2.

Figura 6

Granulometría de la Calic. 02



El desenlace detalla la curva granulométrica obtenida de la calicata 2.

Granulometría de M-3

Tabla 10

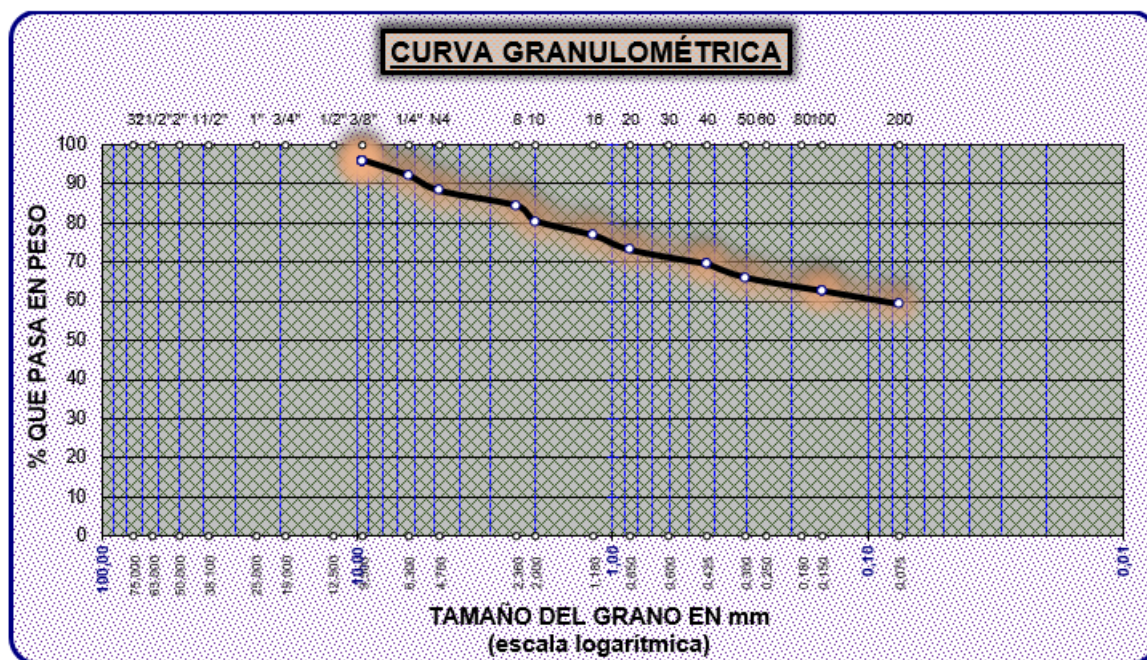
Granulometría de la Calic. 03

MALLA	PESO	%RET. PARCIAL	%RET. ACUMULADO	% QUE PASA
ASTM	RET.			
3/8"	100.00	4.00	4.00	96.00
1/4"	98.38	3.94	7.94	92.06
No4	97.05	3.88	11.82	88.18
No8	96.22	3.85	15.67	84.33
No10	95.69	3.83	19.49	80.51
No16	93.61	3.74	23.24	76.76
No20	91.63	3.67	26.90	73.10
No30				
No40	88.95	3.56	30.46	69.54
No 50	87.34	3.49	33.95	66.05
No60				
No80				
No100	84.89	3.40	37.35	62.65
No200	83.87	3.35	40.71	59.29
BASE	1482.37	59.29	100.00	0.00
TOTAL	2500.00	100.00		
% PERDIDA	59.29			

El desenlace detalla los análisis granulométricos obtenidos de la calicata 3.

Figura 7

Granulometría de la Calic. 03



El desenlace detalla la curva granulométrica obtenida de la calicata 3.

C. Límites Atterberg

Tabla 11

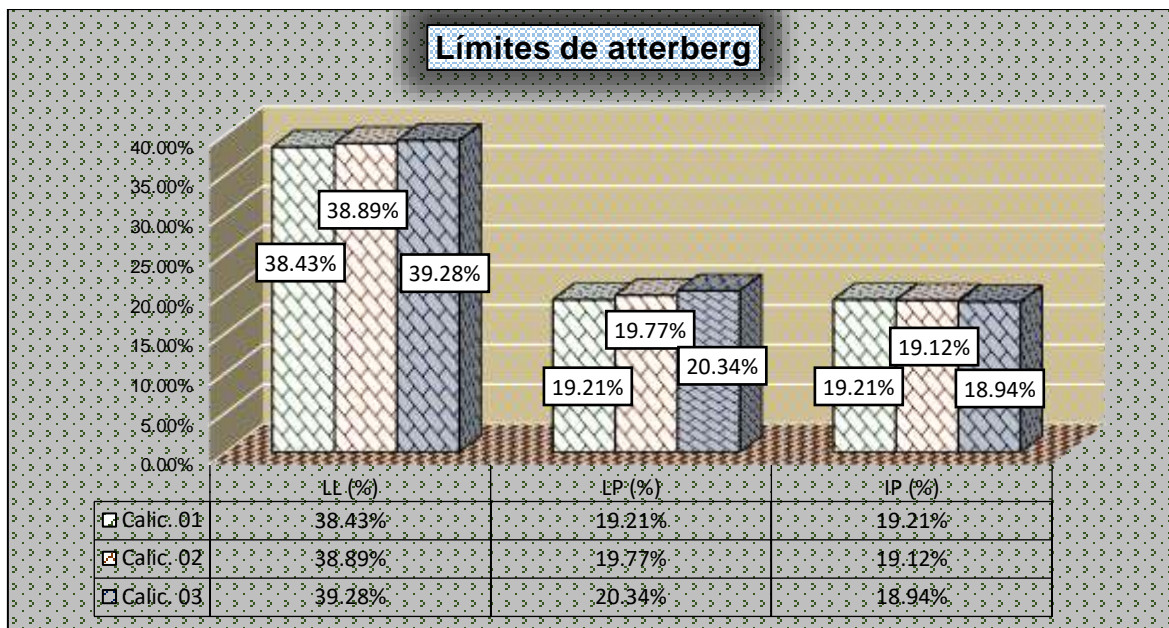
Límites de Atterberg de las muestras de calicatas

Muestra	Límites de Atterberg		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Calic. 01	38.43%	19.21%	19.21%
Calic. 02	38.89%	19.77%	19.12%
Calic. 03	39.28%	20.34%	18.94%
Promedio	-	-	19.09%

El desenlace detalla el IP obtenido de las calicatas desarrolladas, obteniendo una media de 19.09%.

Figura 8

Límites de Atterberg de las muestras de calicatas



El desenlace detalla el IP obtenido de las calicatas desarrolladas, obteniendo una media de 19.09%.

D. GC, MDS.

✓ Calicata 1

Tabla 12

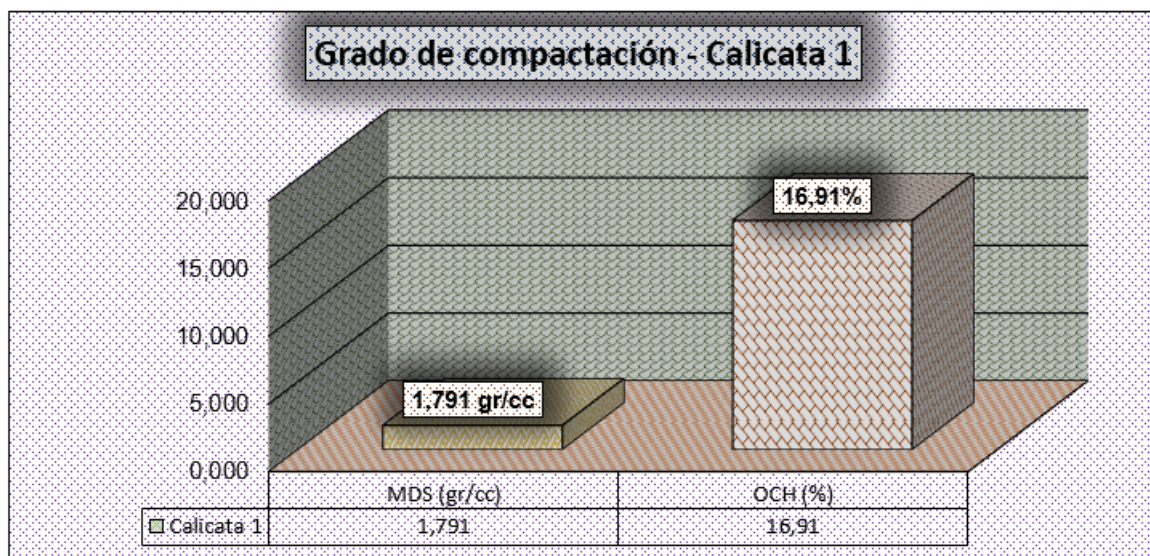
G. Compactación - Calicata 1

Compactación		
Calicata	MDS (gr/cc)	OCH (%)
Calicata 1	1.791	16.91

El resultado 1 describe una MDS de 1.791 g/cc con OCH 16.91%, correspondientes al grado de compactación de los suelos naturales.

Figura 9

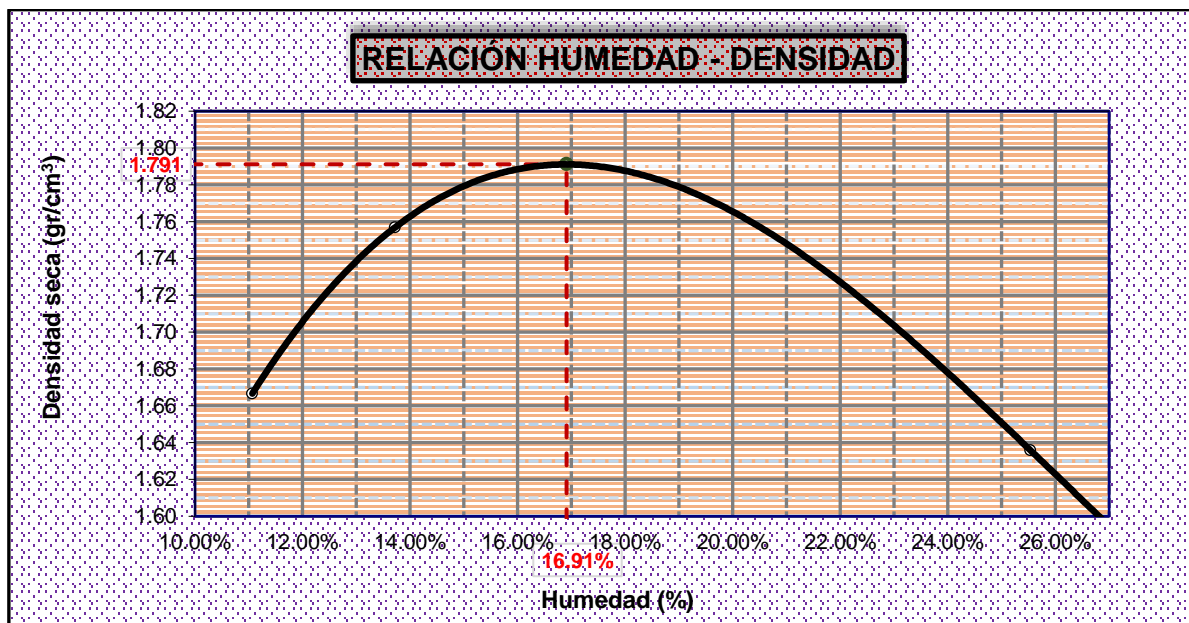
G. Compactación - Calicata 1



El desenlace 1 detalla la MDS de 1.791 gr/cc con OCH 16.91% en el Grado de compactación de suelos naturales.

Figura 10

Curva de compactación - Calicata 1



El desenlace 1 detalla la MDS de 1.791 gr/cc con OCH 16.91% en el Grado de compactación de suelos naturales.

✓ **Calicata 2**

Tabla 13

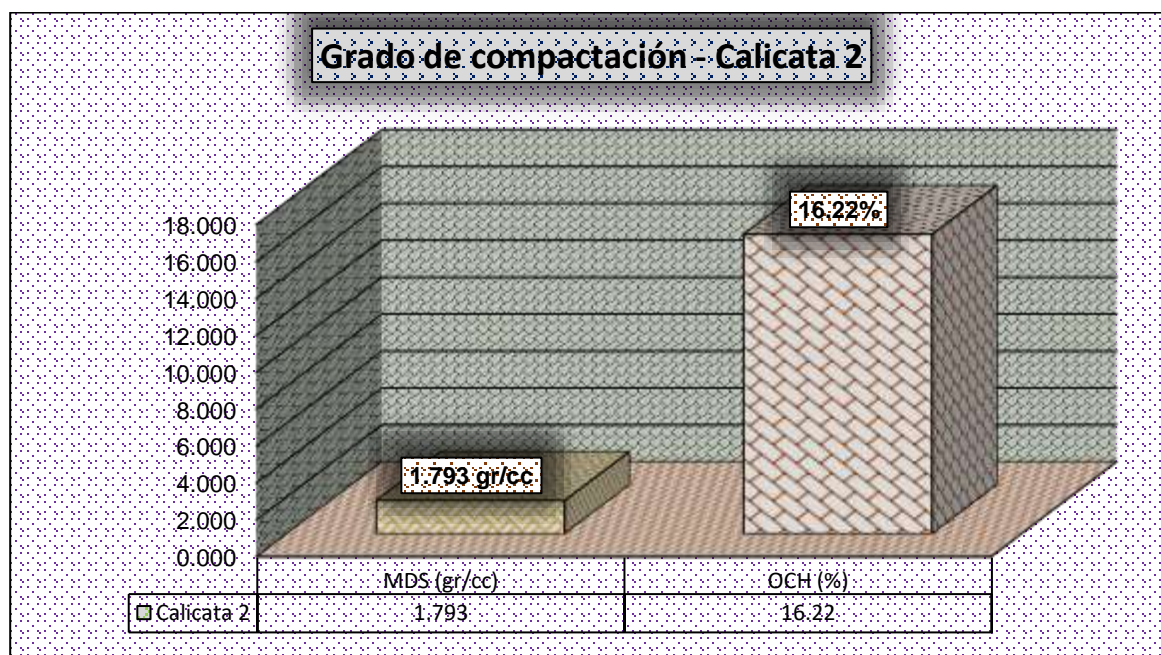
Grado Compactación - Calicata 2

G. Compactación		
Calicata	MDS (gr/cc)	OCH (%)
Calicata 2	1.793	16.22

El desenlace 2 detalla la MDS de 1.793 gr/cc con OCH 16.22% en el Grado de compactación de suelos naturales.

Figura 11

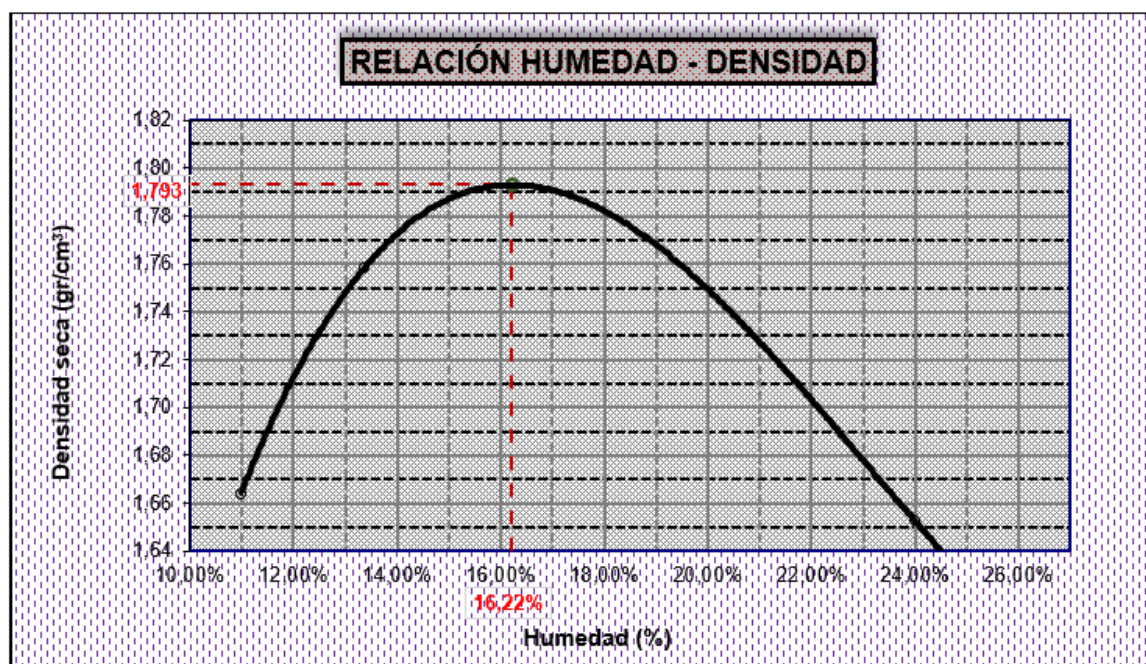
Grado Compactación - Calicata 2



El desenlace 2 detalla la MDS de 1.793 gr/cc con OCH 16.22% en el Grado de compactación de suelos naturales.

Figura 12

Curva de compactación - Calicata 2



El desenlace 2 detalla la MDS de 1.793 gr/cc con OCH 16.22% en el Grado de compactación de suelos naturales.

✓ **Calicata 3**

Tabla 14

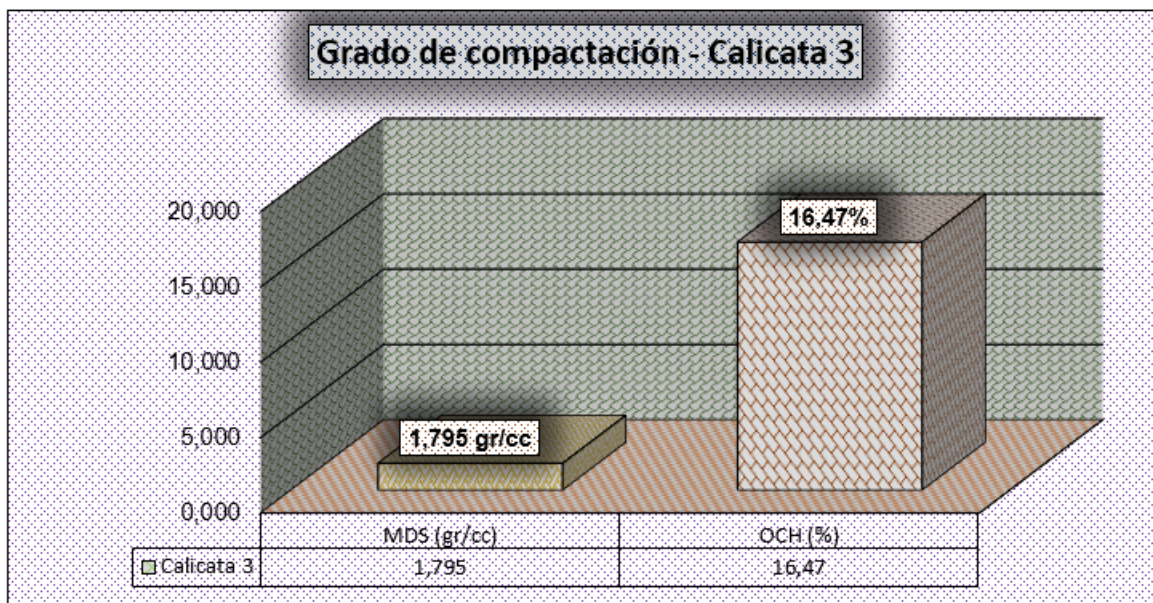
Grado Compactación - Calicata 3

G. Compactación		
Calicata	MDS (gr/cc)	OCH (%)
C - 3	1.795	16.47

El desenlace 3 detalla la MDS de 1.795 gr/cc con OCH 16.47% en G. de compactación de suelos naturales.

Figura 13

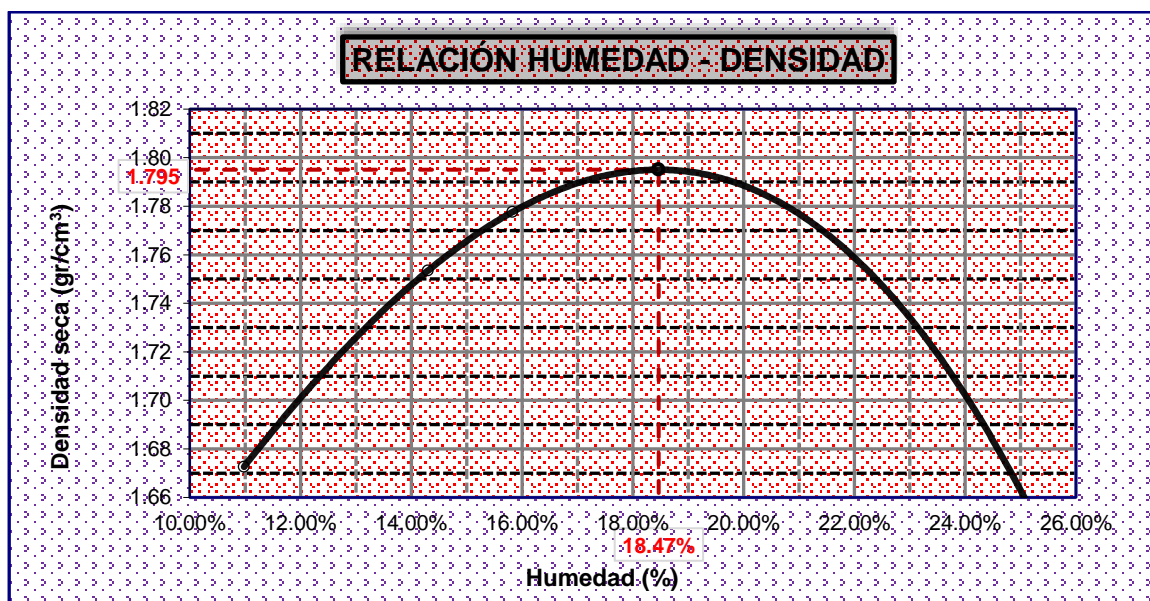
G. Compactación - Calicata 3



El desenlace 3 detalla la MDS de 1.795 gr/cc con OCH 16.47% en el Grado de compactación de suelos naturales.

Figura 14

Curva de compactación - Calicata 3



El desenlace 3 detalla la MDS de 1.795 gr/cc con OCH 16.47% en el Grado de compactación de suelos naturales.

4.1.1 Propiedades mecánicas de las capas de subrasante y las capas de afirmado

En las siguientes líneas desarrollaremos las propiedades mecánicas del suelo natural, obteniendo los siguientes resultados:

✚ CBR Natural - Subrasante

Para el desarrollo de los soportes CBR de la subrasante se desarrollará al 100% y a los 95% de la MDS de la subrasante, tenido los resultados:

- Calicata 1

Tabla 15

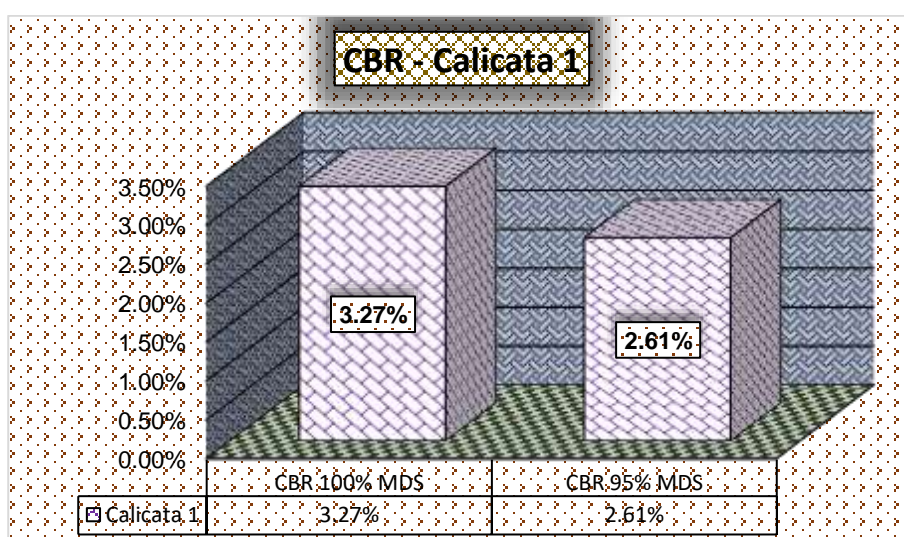
CBR – c-1

CBR		
Calicata	CBR 100% MDS	CBR 95% MDS
M -1	3.27%	2.61%

Los valores de CBR para una calicata 1 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 3.27% y 2.61%, respectivamente.

Figura 15

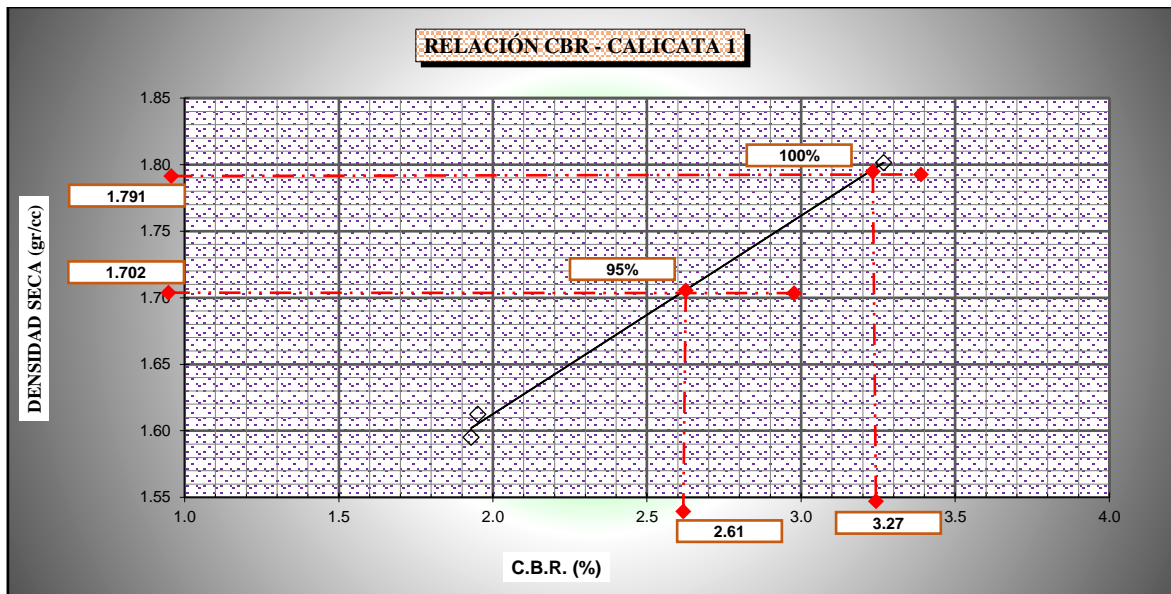
CBR - calicata 1



La figura muestra los valores de CBR para una calicata 1 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 3.27% y 2.61%, respectivamente.

Figura 16

Relación CBR - calicata 1



La figura muestra los valores de CBR para una calicata 1 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 3.27% y 2.61%, respectivamente.

- Calicata 2

Tabla 16

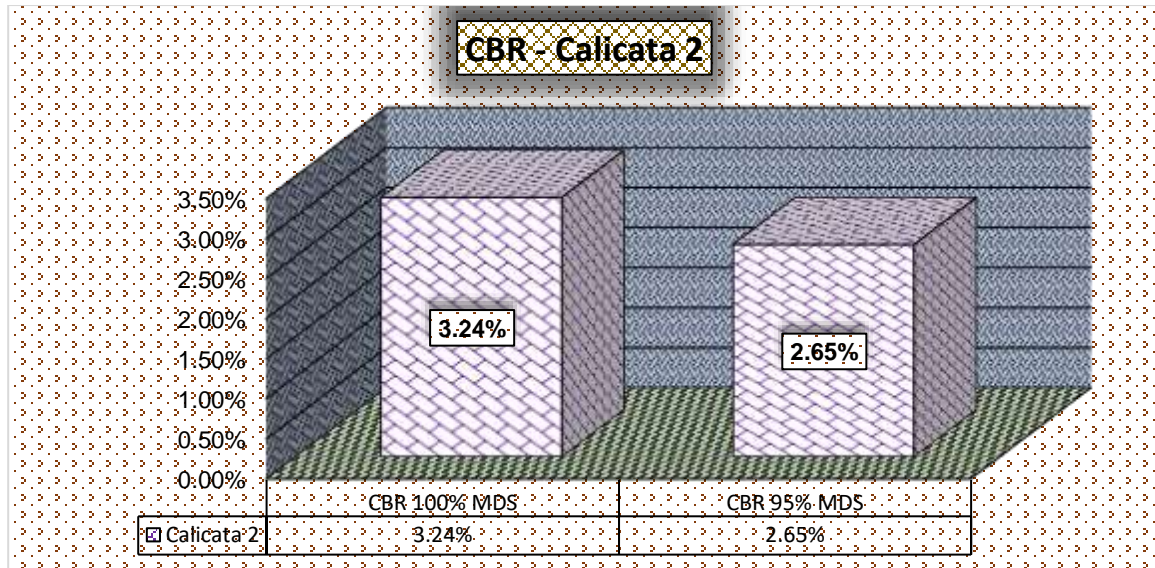
CBR – M - 2

CBR		
Calicata	CBR 100% MDS	CBR 95% MDS
M - 2	3.24%	2.65%

La tabla muestra los valores de CBR para una calicata 2 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 3.24% y 2.65%, respectivamente.

Figura 17

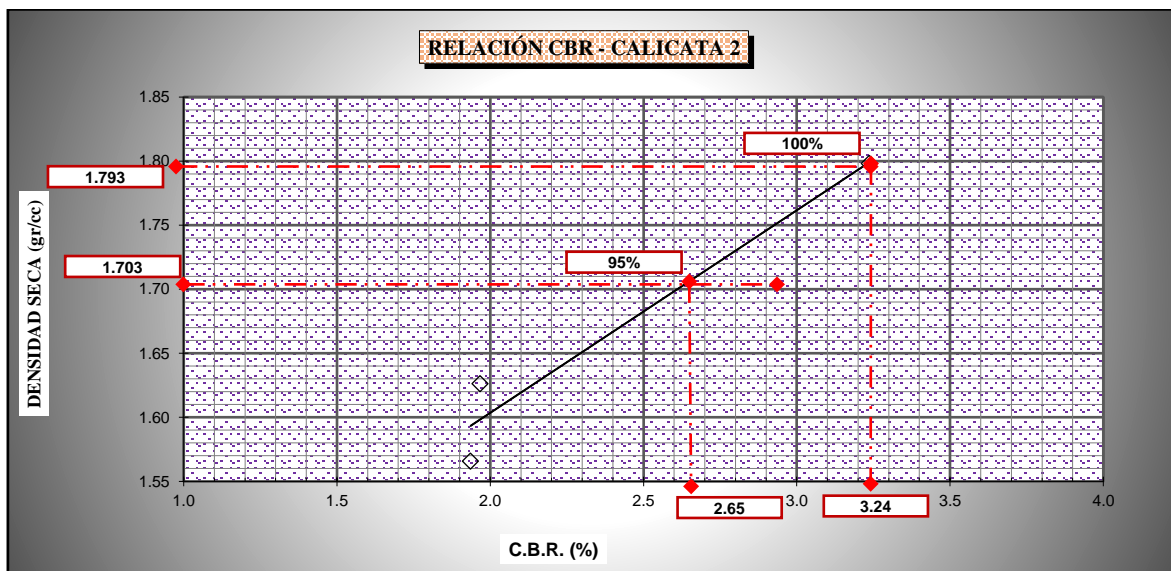
CBR - calicata 2



La figura muestra los valores de CBR para una calicata 2 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 3.24% y 2.65%, respectivamente.

Figura 18

Relación CBR - calicata 2



La figura muestra los valores de CBR para una calicata 2 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 3.24% y 2.65%, respectivamente.

○ **Calicata 3**

Tabla 17

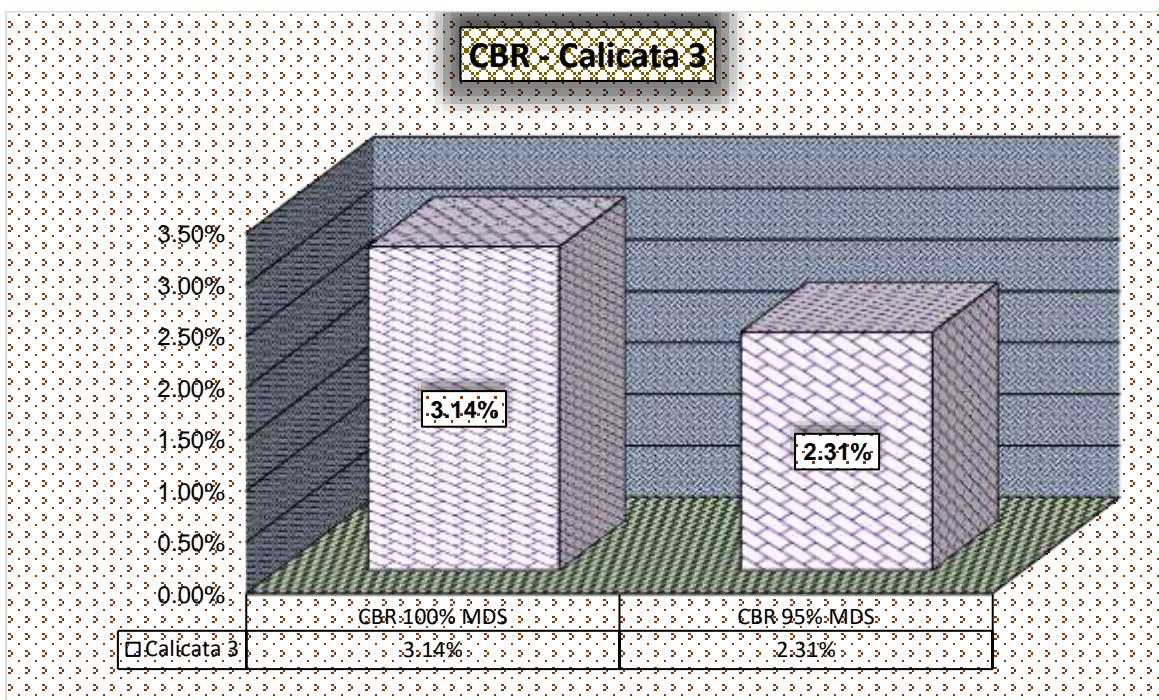
CBR – C-3

CBR - Subrasante		
Calicata	CBR 100% MDS	CBR 95% MDS
M - 3	3.14%	2.31%

La tabla muestra los valores de CBR para una calicata 3 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 3.14% y 2.31%, respectivamente.

Figura 19

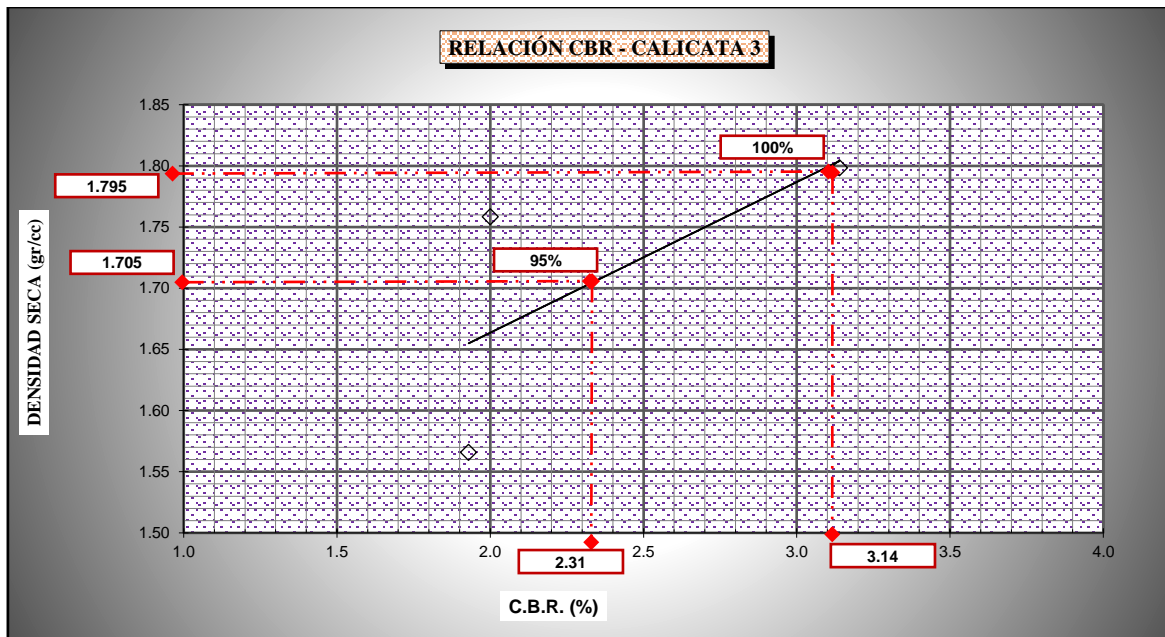
CBR - calicata 3



La figura muestra los valores de CBR para una calicata 3 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 3.14% y 2.31%, respectivamente.

Figura 20

Relación CBR - calicata 3



La figura muestra los valores de CBR para una calicata 3 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 3.14% y 2.31%, respectivamente.

✓ **Resultados de las Calicatas**

Tabla 18

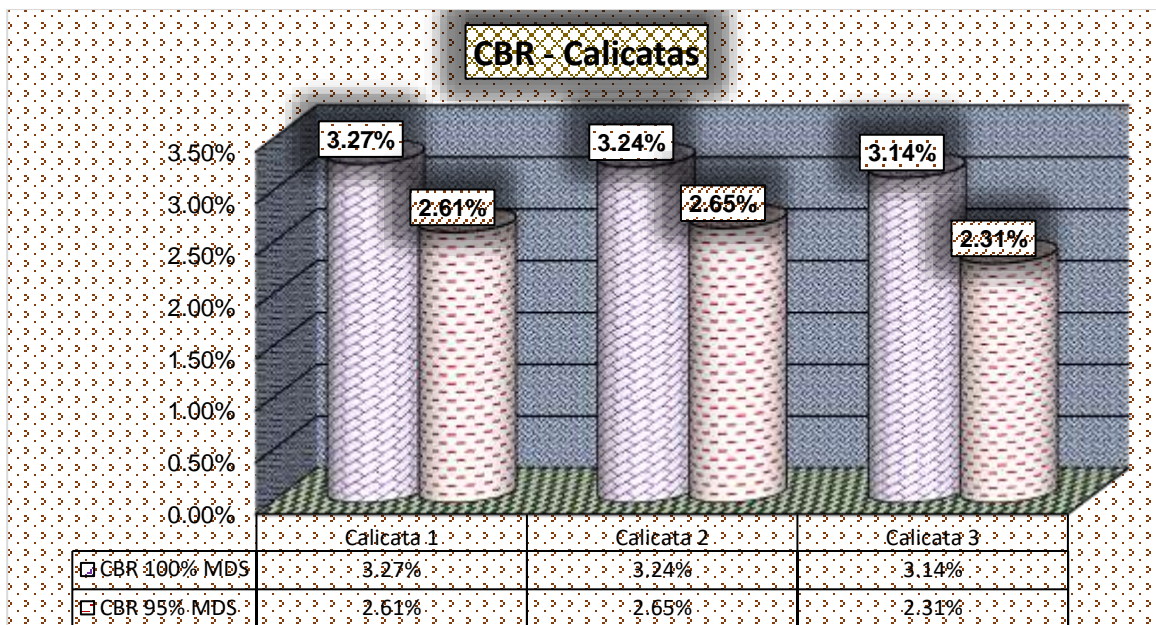
Resultados de las Calicatas Naturales

CBR - Subrasante		
Calicata	CBR 100% MDS	CBR 95% MDS
Calicata 1	3.27%	2.61%
Calicata 2	3.24%	2.65%
Calicata 3	3.14%	2.31%
PROMEDIO	3.22%	2.52%

La tabla muestra los valores de CBR de las calicatas naturales en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 3.22% y 2.52% media, respectivamente.

Figura 21

Resultados de las Calicatas Naturales



La figura muestra los valores de CBR de las calicatas naturales en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 3.22% y 2.52% media, respectivamente.

CBR Natural - Afirmado

Para el desarrollo de los soportes CBR del afirmado se desarrollará al 100% y a los 95% de la MDS.

o Calicata 1

Tabla 19

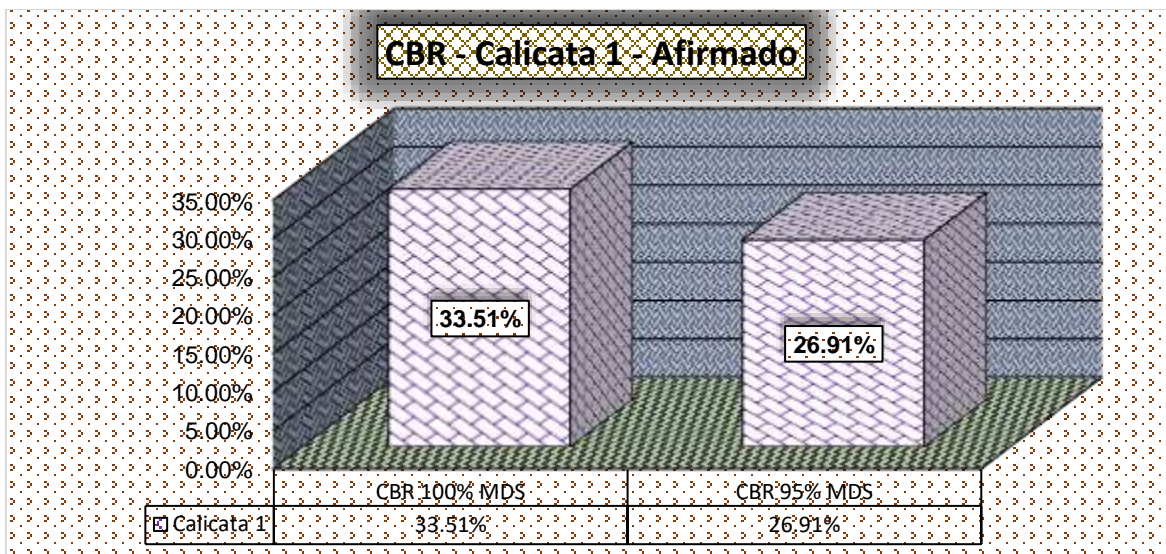
CBR – c - 1 - Afirmado

CBR - Afirmado		
Calicata	CBR 100% MDS	CBR 95% MDS
M - 1	33.51%	26.91%

La tabla muestra los valores de CBR del afirmado para una calicata 1, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 33.51% y 26.91%, respectivamente.

Figura 22

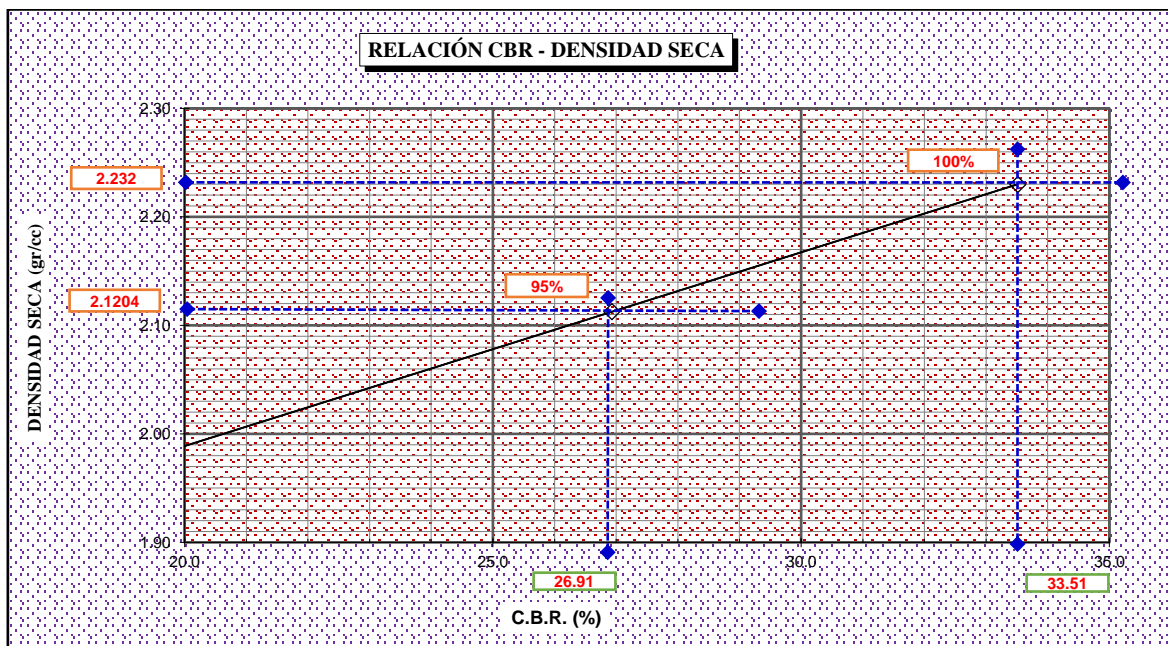
CBR - calicata 1 - Afirmado



La figura muestra los valores de CBR del afirmado para una calicata 1, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 33.51% y 26.91%, respectivamente.

Figura 23

Relación CBR - calicata 1 - Afirmado



La figura muestra los valores de CBR del afirmado para una calicata 1, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 33.51% y 26.91%, respectivamente.

○ **Calicata 2**

Tabla 20

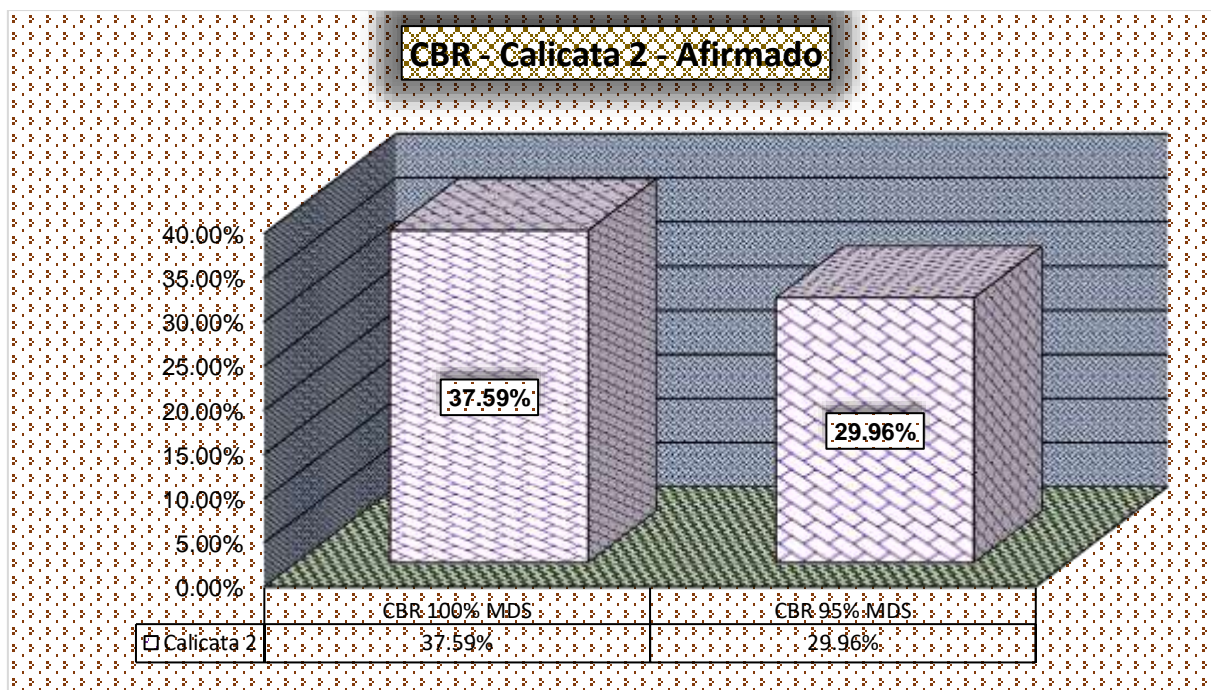
CBR – M - 2 - Afirmado

CBR - Afirmado		
Calicata	CBR 100% MDS	CBR 95% MDS
Calicata 2	37.59%	29.96%

La tabla muestra los valores de CBR del afirmado para una calicata 2, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 37.59% y 29.96%, respectivamente.

Figura 24

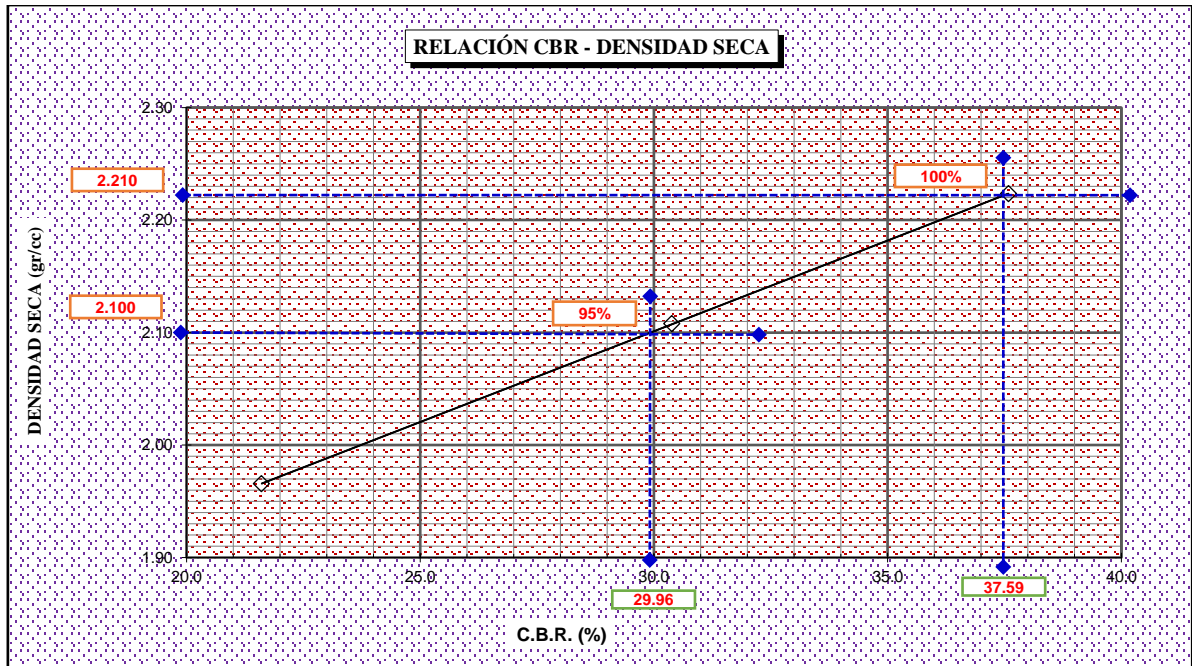
CBR - calicata 2 - Afirmado



La figura muestra los valores de CBR del afirmado para una calicata 2, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 37.59% y 29.96%, respectivamente.

Figura 25

Relación CBR - calicata 2 - Afirmado



La figura muestra los valores de CBR del afirmado para una calicata 2, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 37.59% y 29.96%, respectivamente.

○ **Calicata 3**

Tabla 21

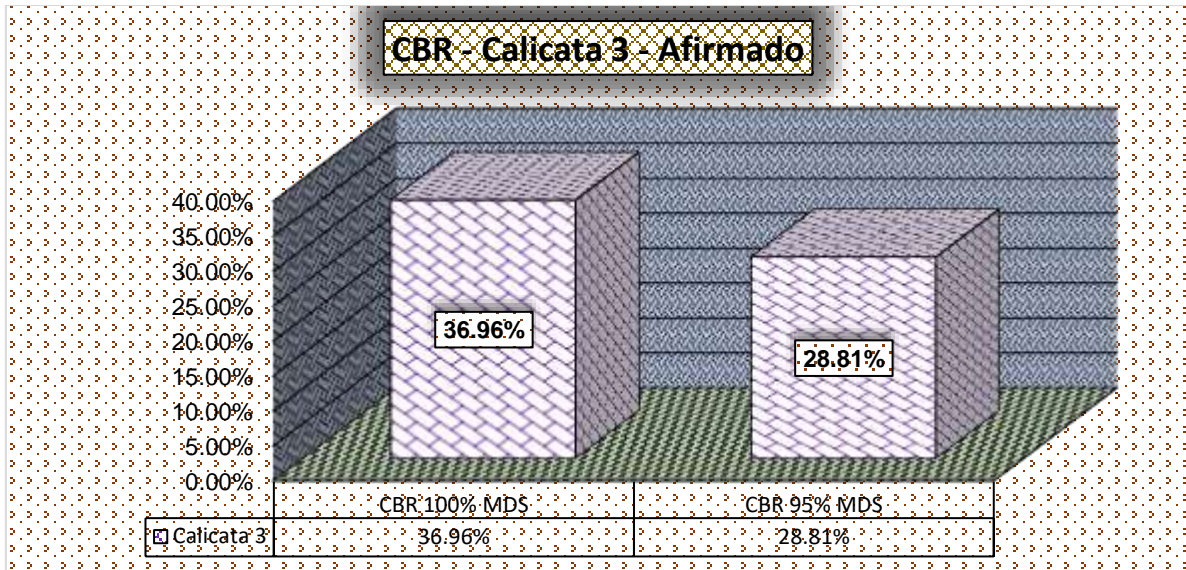
CBR – C-3 - Afirmado

CBR - Afirmado		
Calicata	CBR 100% MDS	CBR 95% MDS
Calicata 3	36.96%	28.81%

Se muestra los valores de CBR del afirmado para una calicata 3, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 36.96% y 28.81%, respectivamente.

Figura 26

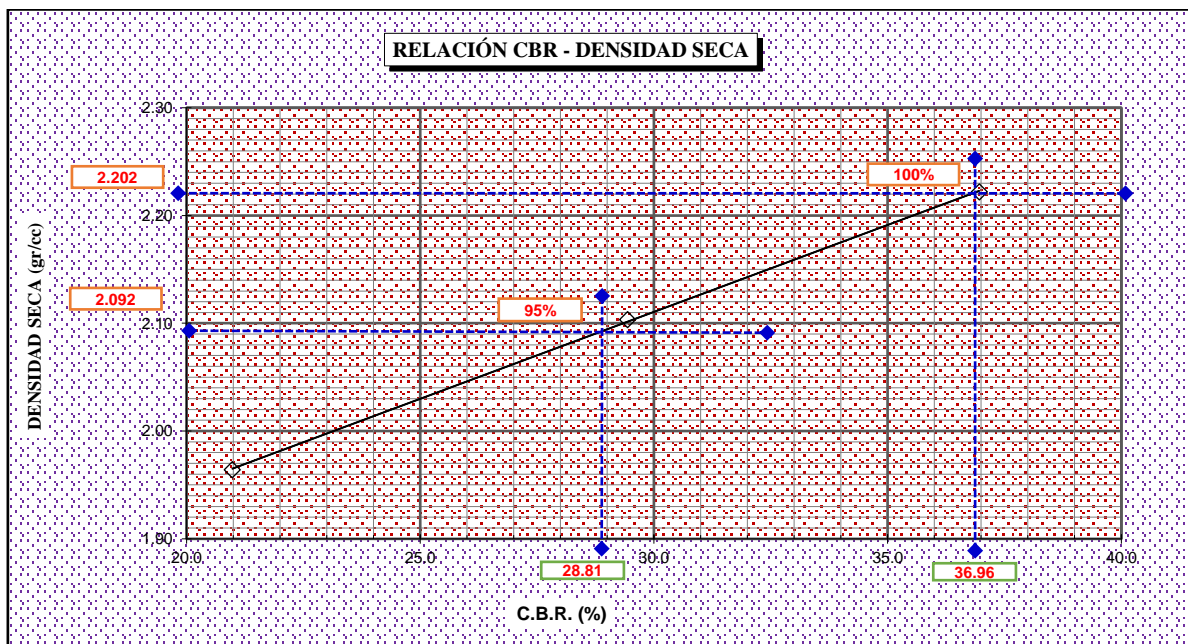
CBR - calicata 3 - Afirmado



La figura muestra los valores de CBR del afirmado para una calicata 3, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 36.96% y 28.81%, respectivamente.

Figura 27

Relación CBR - calicata 3 - Afirmado



La figura muestra los valores de CBR del afirmado para una calicata 3, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 36.96% y 28.81%, respectivamente.

✓ Resultados de las Calicatas - Afirmado

Tabla 22

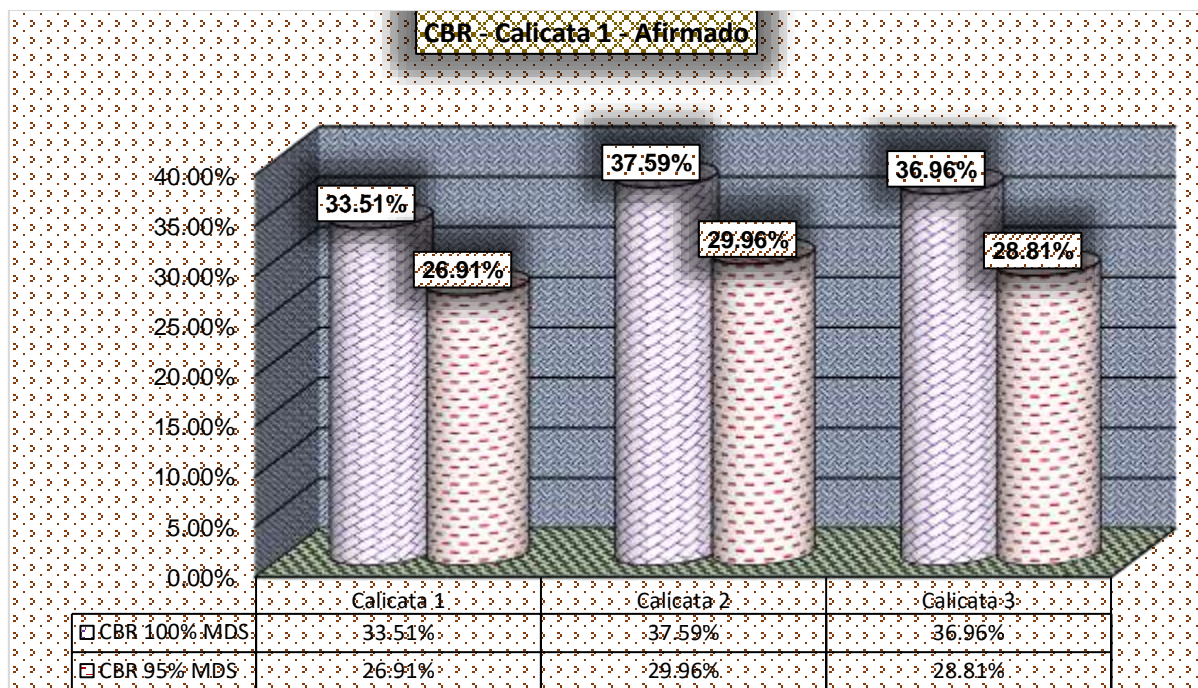
Resultados de Muestras - Afirmado

CBR - Afirmado		
Calicata	CBR 100% MDS	CBR 95% MDS
Calicata 1	33.51%	26.91%
Calicata 2	37.59%	29.96%
Calicata 3	36.96%	28.81%
PROMEDIO	36.02%	28.56%

Muestra los valores de CBR del afirmado de las calicatas, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 36.02% y 28.56% media, respectivamente.

Figura 28

Resultados de las Calicatas - Afirmado



La figura muestra los valores de CBR del afirmado de las calicatas, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 36.02% y 28.56% media, respectivamente.

4.1.2 Impacto de incorporación de ceniza de carbón sobre las propiedades mecánicas del suelo de subrasante

A. CBR Natural + 6% Ceniza de Carbón

Tabla 23

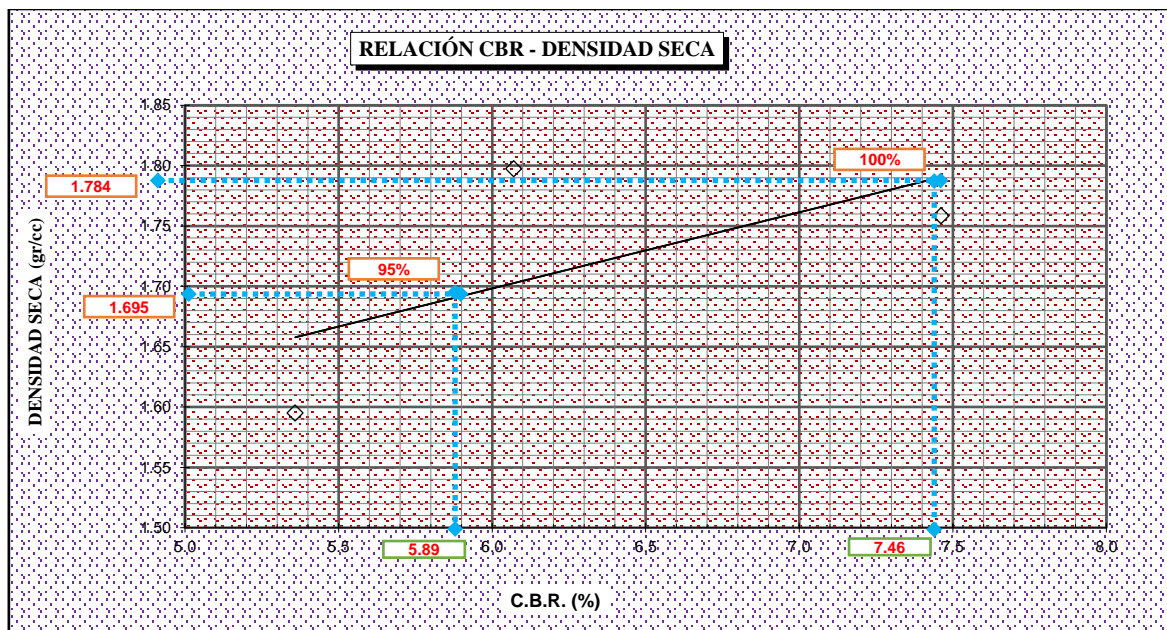
CBR Natural + 6% Ceniza de Carbón

CBR - Subrasante 6% CC		
Calicata	CBR 100% MDS	CBR 95% MDS
Calicata Patrón	3.22%	2.61%
C1+6% CC	7.46%	5.89%
C2+6% CC	6.91%	6.11%
C3+6% CC	6.31%	5.46%
Promedio	6.89%	5.82%

Muestra los valores de CBR de las calicatas en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 6.89% y 5.82% media, respectivamente.

Figura 29

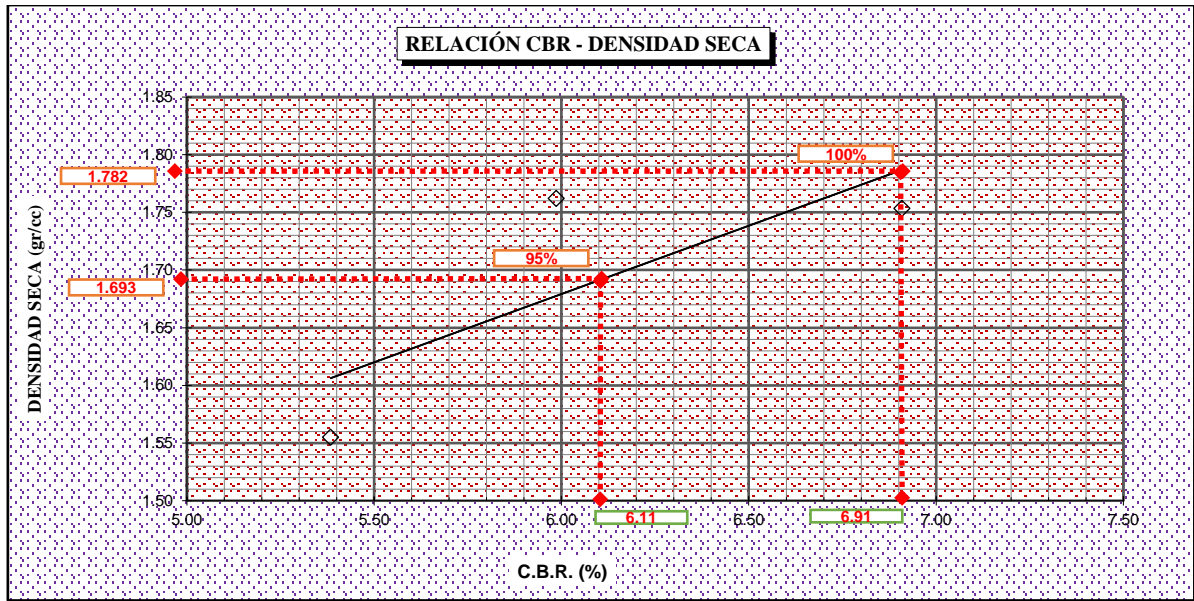
CBR Natural 1 – 6% Ceniza de Carbón



Se muestra los valores de CBR de la calicata 1 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 7.46% y 5.89%, respectivamente.

Figura 30

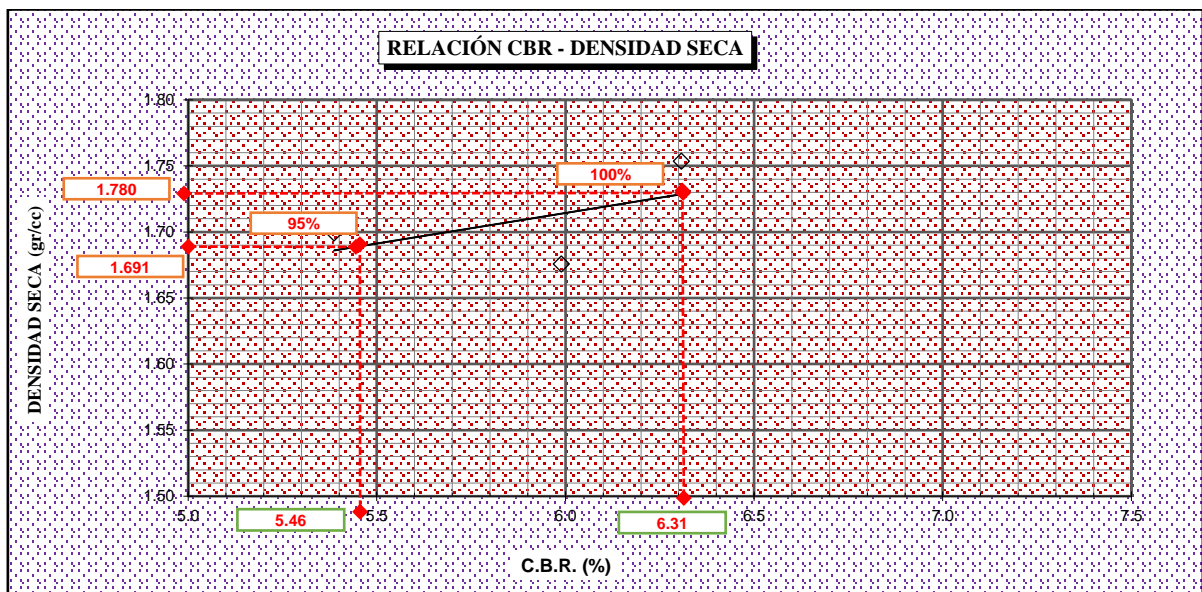
CBR Natural 2 – 6% Ceniza de Carbón



Muestra los valores de CBR de la calicata 2 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 6.91% y 6.11%, respectivamente.

Figura 31

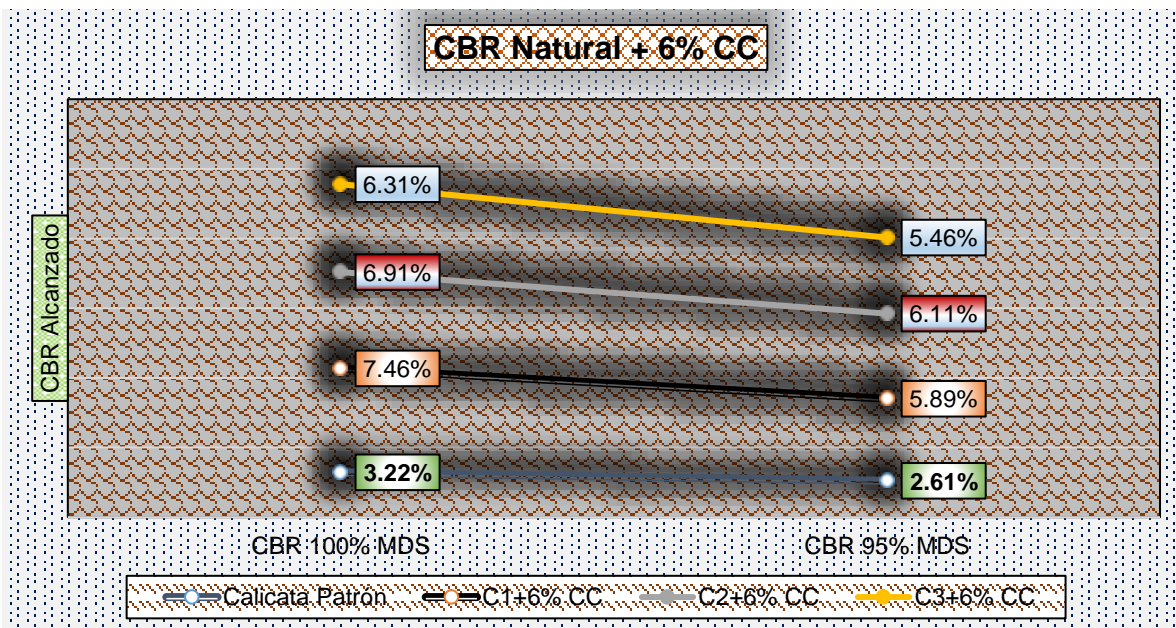
CBR Natural 3 – 6% Ceniza de Carbón



Muestra los valores de CBR de la calicata 3 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 6.31% y 5.46%, respectivamente.

Figura 32

CBR Natural – 6% Ceniza de Carbón



La figura muestra los valores de CBR de las calicatas en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 6.89% y 5.82% media, respectivamente.

B. CBR Natural + 12% Ceniza de Carbón

Tabla 24

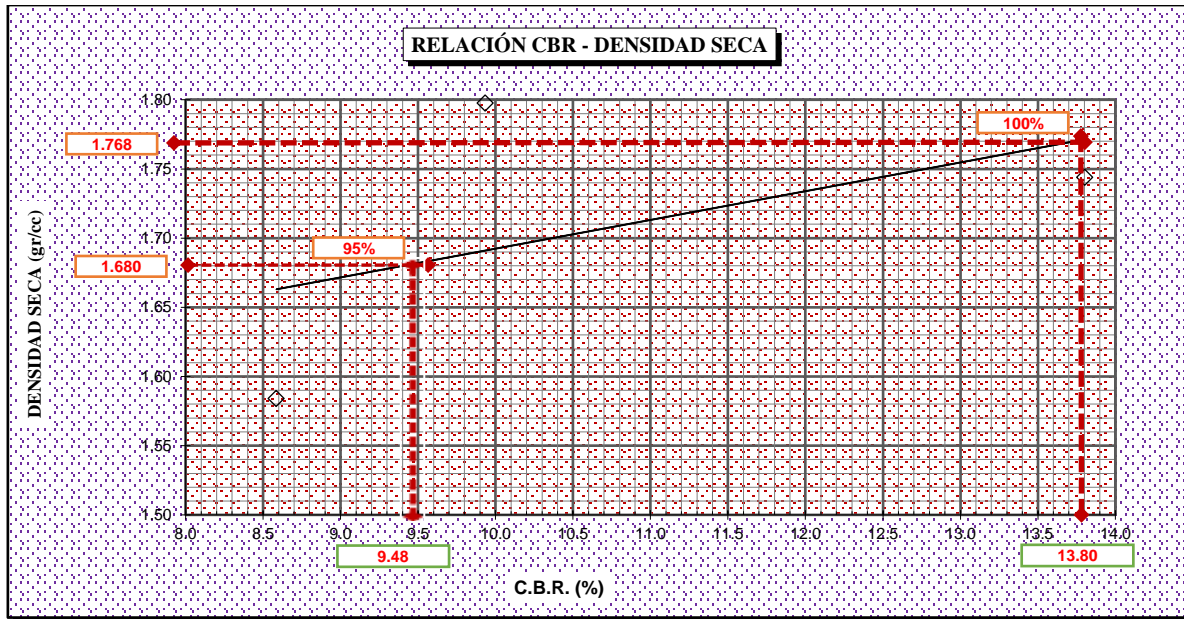
CBR Natural + 12% Ceniza de Carbón

CBR - Subrasante 12% CC		
Calicata	CBR 100% MDS	CBR 95% MDS
Calicata Patrón	3.22%	2.61%
C1+12% CC	13.80%	9.48%
C2+12% CC	13.79%	9.01%
C3+12% CC	13.85%	8.89%
Promedio	13.81%	9.13%

La tabla muestra los valores de CBR de las calicatas en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 13.81% y 9.13% media, respectivamente.

Figura 33

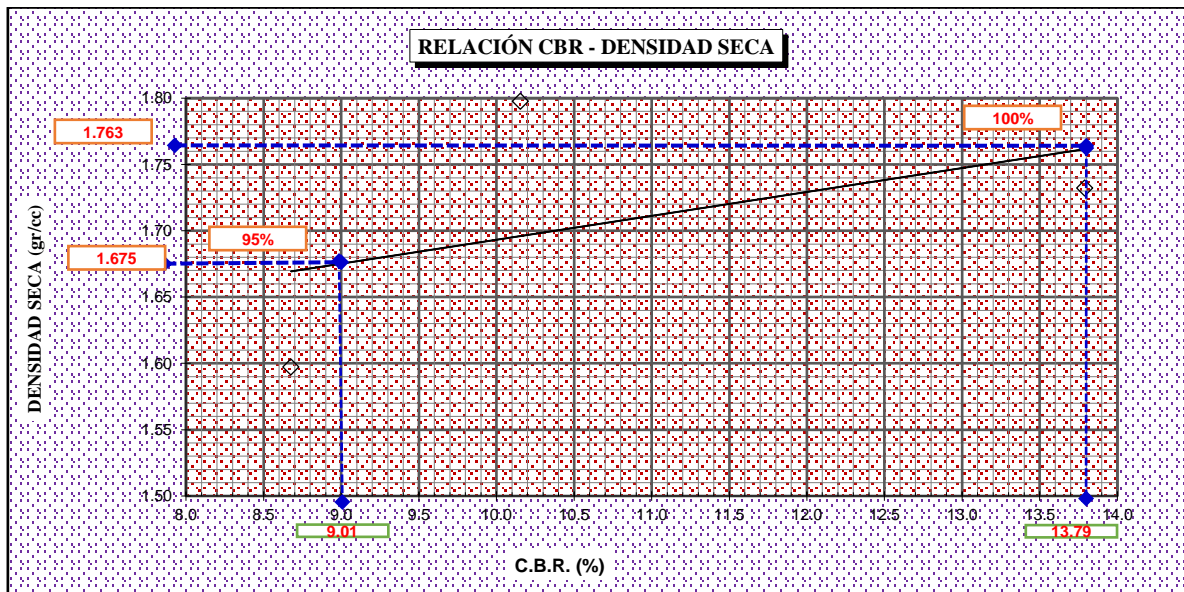
CBR Natural 1 – 12% Ceniza de Carbón



Muestra los valores de CBR de la calicata 1 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 13.80% y 9.48%, respectivamente.

Figura 34

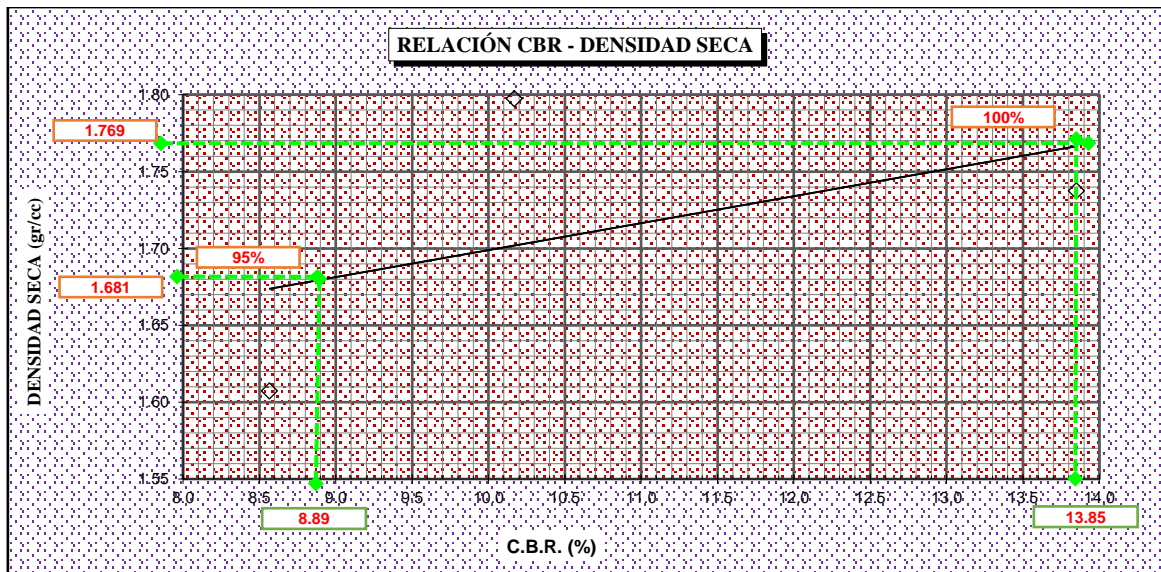
CBR Natural 2 – 12% Ceniza de Carbón



Muestra los valores de CBR de la calicata 2 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 13.79% y 9.01%, respectivamente.

Figura 35

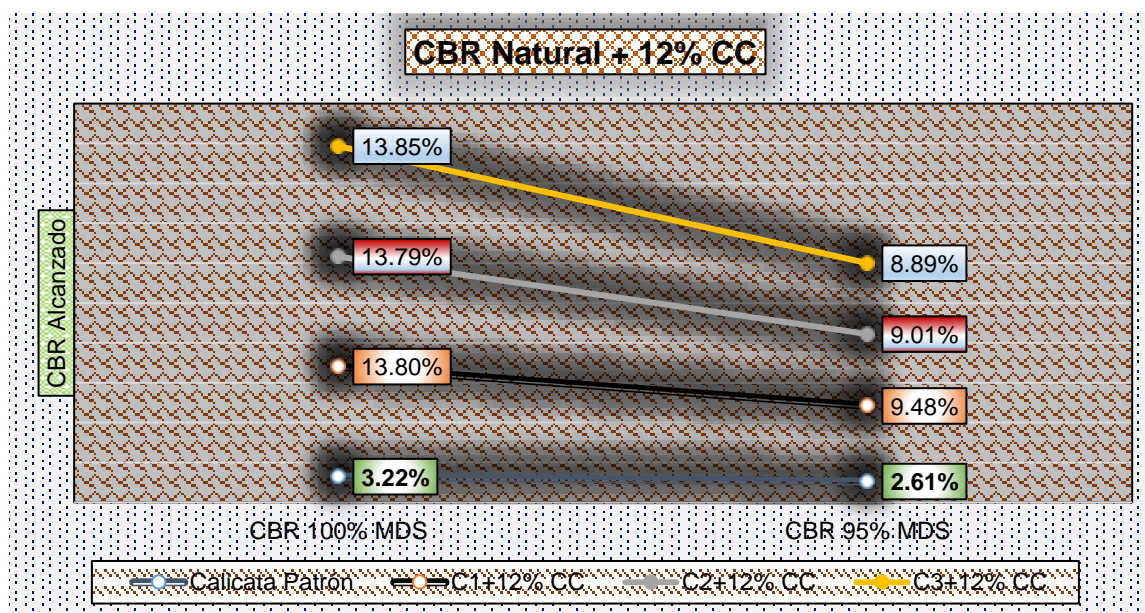
CBR Natural 3 – 12% Ceniza de Carbón



Muestra los valores de CBR de la calicata 3 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 13.85% y 8.89%, respectivamente.

Figura 36

CBR Natural – 12% Ceniza de Carbón



Muestra los valores de CBR de las calicatas en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 13.81% y 9.13% media, respectivamente.

C. CBR Natural + 18% Ceniza de Carbón

Tabla 25

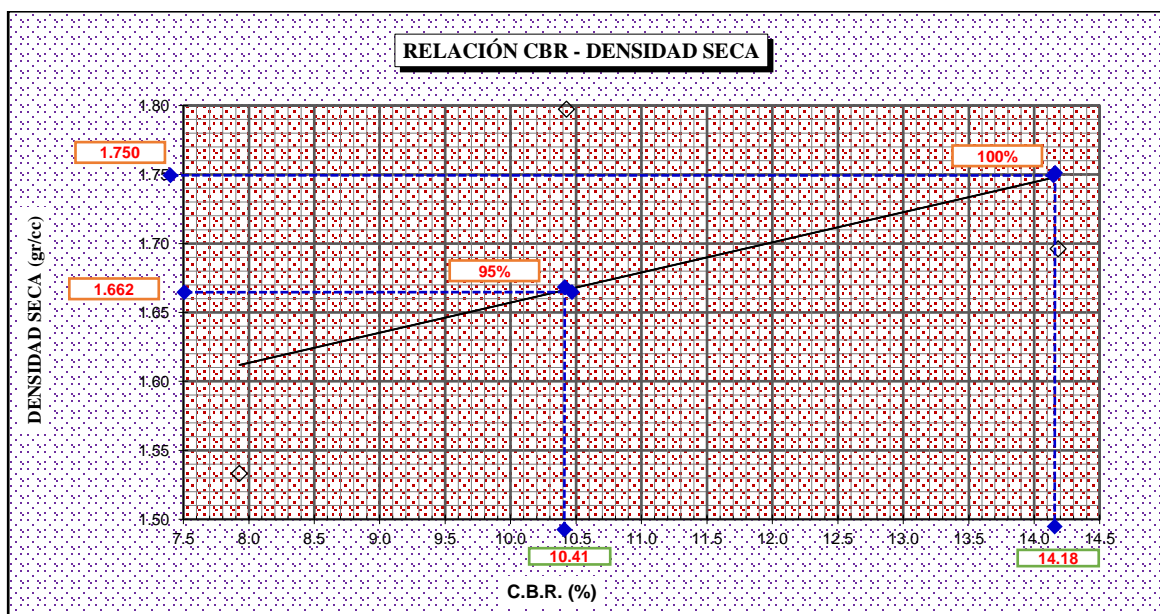
CBR Natural + 18% Ceniza de Carbón

CBR - Subrasante 18% CC		
Calicata	CBR 100% MDS	CBR 95% MDS
Calicata Patrón	3.22%	2.61%
C1+18% CC	14.18%	10.41%
C2+18% CC	13.85%	10.52%
C3+18% CC	13.28%	9.50%
Promedio	13.77%	10.14%

La tabla muestra los valores de CBR de las calicatas en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 13.77% y 10.14% media, respectivamente.

Figura 37

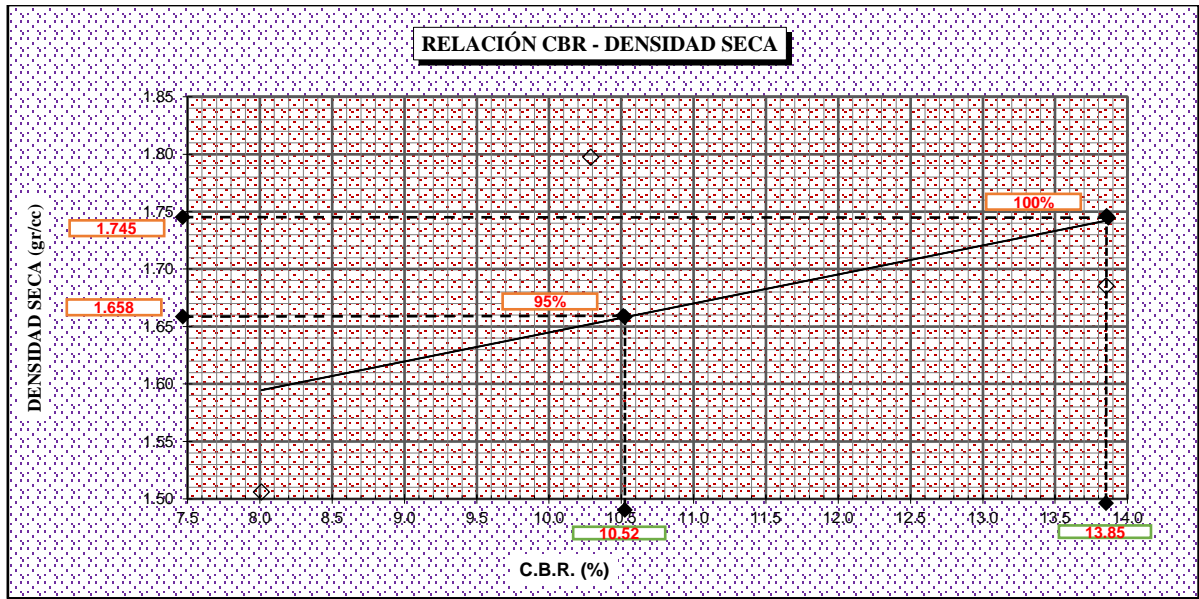
CBR Natural 1 – 18% Ceniza de Carbón



Muestra los valores de CBR de la calicata 1 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 14.18% y 10.41%, respectivamente.

Figura 38

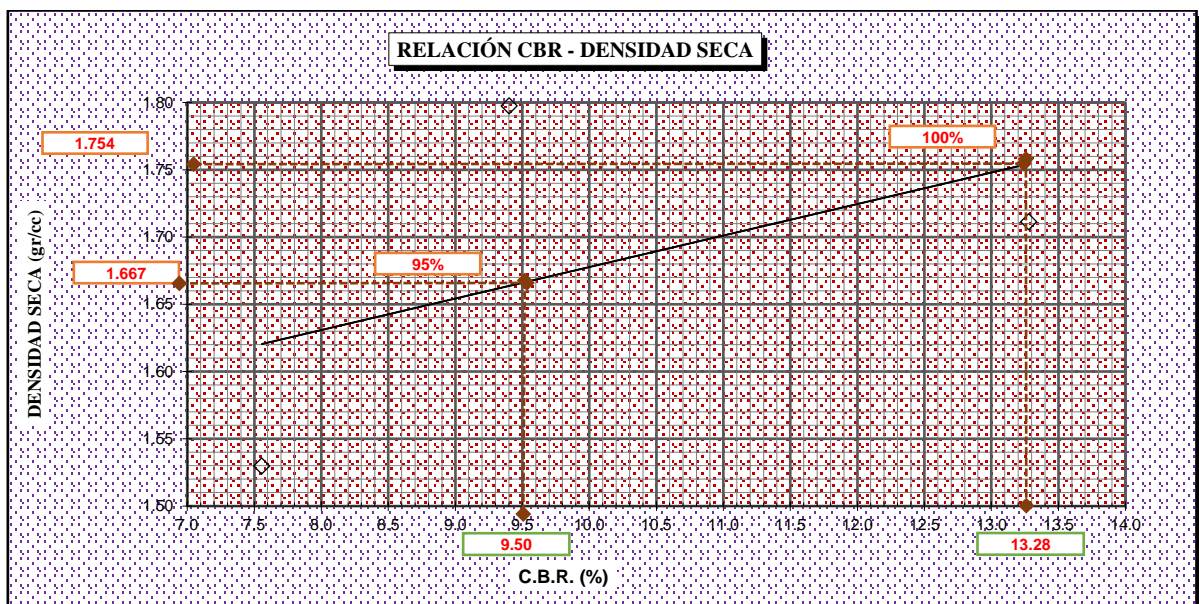
CBR Natural 2 – 18% Ceniza de Carbón



Muestra los valores de CBR de la calicata 2 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 13.85% y 10.52%, respectivamente.

Figura 39

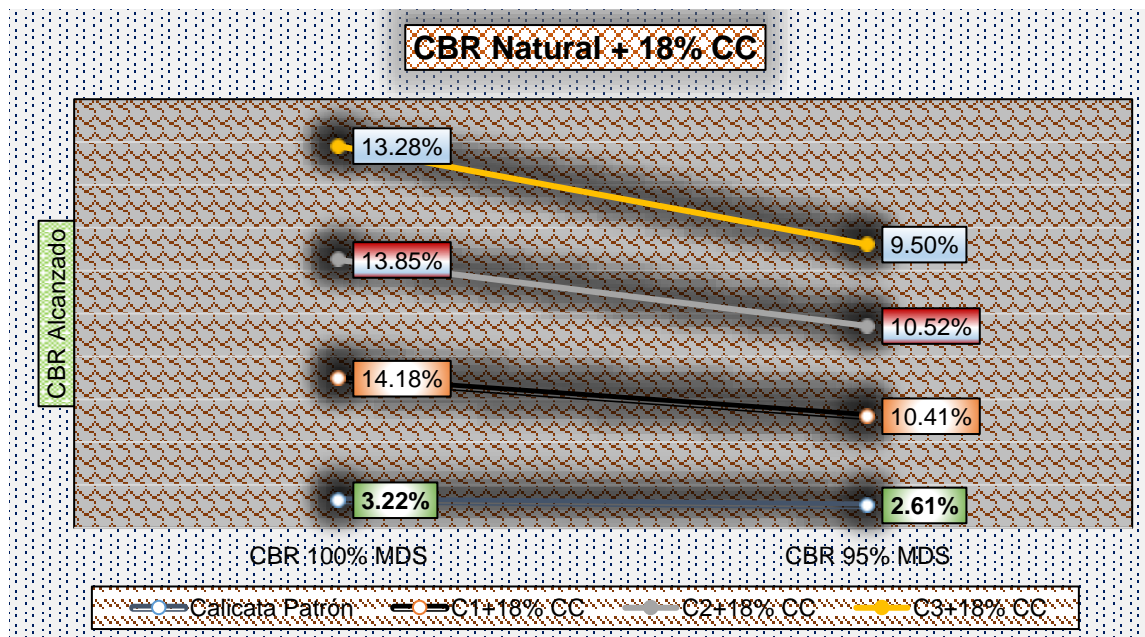
CBR Natural 3 – 18% Ceniza de Carbón



Muestra los valores de CBR de la calicata 3 en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 13.28% y 9.50%, respectivamente.

Figura 40

CBR Natural – 18% Ceniza de Carbón



Los valores de CBR de las calicatas en la subrasante, comparando los resultados al 100% y 95% de MDS, siendo 13.77% y 10.14% media, respectivamente.

4.1.2.1 Comparativo de los CBR obtenidos

Luego de haber obtenido todos los resultados planteados según los objetivos desarrollamos el comparativo de las CBR:

➤ **CBR Subrasante + Ceniza de Carbón**

Tabla 26

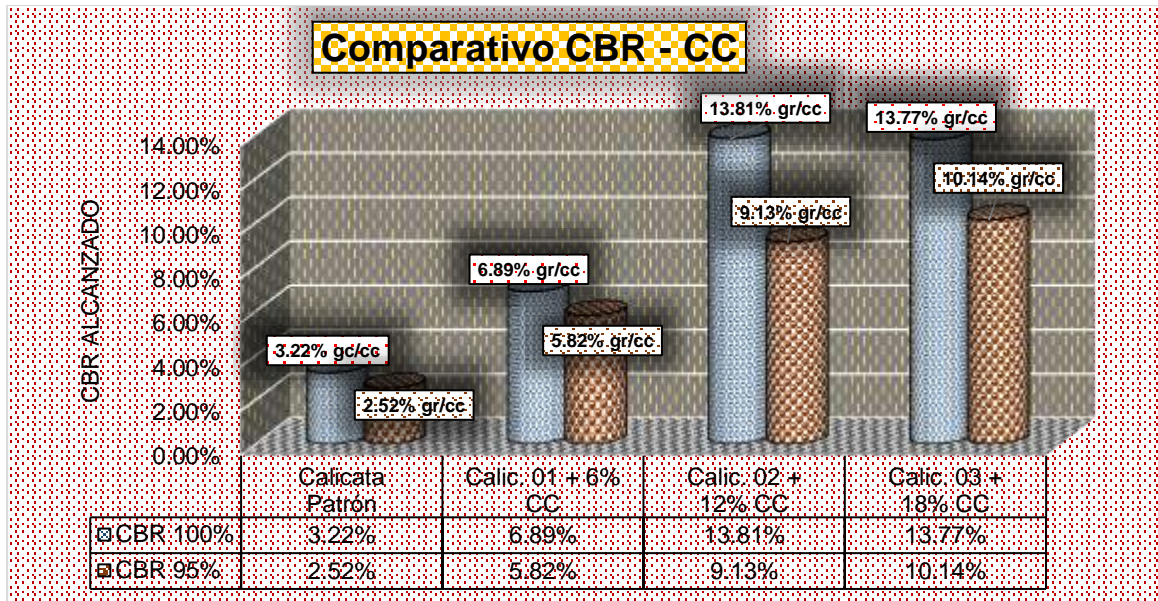
Comparativo del CBR Subrasante + Ceniza de Carbón

Comparativo de CBR Ceniza de Carbón		
Calicata	CBR 100% MDS	CBR 95% MDS
Calicata Patrón	3.22%	2.52%
Calic. 01 + 6% CC	6.89%	5.82%
Calic. 02 + 12% CC	13.81%	9.13%
Calic. 03 + 18% CC	13.77%	10.14%

El desenlace detalla las incidencias obtenidas de las CBR con Ceniza de Carbón en la subrasante.

Figura 41

Comparativo del CBR Subrasante + Ceniza de Carbón



El desenlace detalla las incidencias obtenidas de las CBR con Ceniza de Carbón en la subrasante.

4.1.3 *Esesor del afirmado tras la estabilización de la subrasante y ejes equivalentes*

La estabilización del suelo de la subrasante es una técnica ampliamente utilizada en la construcción de carreteras para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. En este caso, la incorporación de ceniza de carbón, un subproducto generado durante la combustión del carbón, permite fortalecer la capacidad portante del suelo y reducir su susceptibilidad a la expansión o contracción. Este material actúa como un mejorador químico que incrementa la estabilidad del suelo, creando una base más sólida y duradera para soportar las cargas vehiculares a lo largo del tiempo.

Diseño de Espesores de Capas de Afirmado

El diseño de las capas de afirmado es un proceso clave que debe cumplir con los lineamientos establecidos por las normativas técnicas y garantizar la funcionalidad del

proyecto. Este diseño considera la relación entre la capacidad portante del suelo, medida a través del índice de (CBR), y la cantidad de tráfico expresada como repeticiones de ejes equivalentes (EE).

Un método comúnmente utilizado para este propósito es el desarrollado por AUSTRROADS, que establece una fórmula para calcular el espesor adecuado de las capas de afirmado:

$$e = f(\text{CBR}, \text{EE})$$

Donde:

- e: Espesor en milímetros de la capa de afirmado.
- CBR: Índice de soporte del suelo de subrasante.
- EE: Número de repeticiones de carga proyectadas.

En este caso, reemplazando los datos obtenidos en el análisis, se determinó un espesor de 137.15 mm para la capa de afirmado, lo cual satisface las necesidades estructurales del proyecto.

Figura 42

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	250	250	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	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

Tratamiento de Subrasantes con Baja Capacidad de Soporte

Las subrasantes con valores de CBR inferiores al 6% requieren intervenciones específicas debido a su insuficiente capacidad para soportar cargas. Estas intervenciones pueden incluir la estabilización mediante ceniza de carbón, lo que mejora las propiedades del suelo, o la sustitución completa de la subrasante en casos críticos. Estas medidas garantizan que el suelo cumpla con los estándares de resistencia necesarios para una adecuada funcionalidad de la vía.

Selección de Espesores Basada en Tráfico y Condiciones Locales

En vías con baja intensidad de tránsito, como aquellas en zonas rurales o de menor circulación, se pueden asumir valores de tráfico equivalentes entre 10,000 y 20,000 EE, basados en estudios de antecedentes cercanos. En este escenario, el espesor recomendado de la capa de afirmado para garantizar un desempeño adecuado es de 150 mm. Este cálculo toma en cuenta un valor de CBR mejorado gracias a la adición de ceniza de carbón, lo cual asegura que la subrasante pueda soportar las cargas previstas.

Importancia del CBR en el Diseño de Pavimentos

El índice de soporte California (CBR) es una medida crítica en el diseño de pavimentos, ya que proporciona información sobre la resistencia del suelo a la penetración bajo cargas controladas. Mejorar este índice mediante el uso de estabilizantes como la ceniza de carbón no solo incrementa la capacidad de soporte del suelo, sino que también minimiza problemas como asentamientos diferenciales y deformaciones causadas por tráfico o humedad.

En este estudio, el uso de ceniza de carbón demostró ser efectivo para optimizar el CBR del suelo, alcanzando valores que permiten determinar espesores adecuados para las capas del pavimento y garantizando la estabilidad de la vía a lo largo de su vida útil.

4.2 Discusión de resultados

Los resultados fueron analizados y comparados con estudios previos para evaluar su coherencia y relevancia. A continuación, se presentan los puntos principales discutidos:

D1: Evaluación de las Propiedades Mecánicas de la Subrasante y el Afirmado

Los resultados del ensayo CBR para la subrasante mostraron un promedio de 3.22% al 100% y 2.52% al 95%. Estos valores reflejan una subrasante con capacidad de soporte limitada, clasificada como "subrasante pobre" según las normas peruanas (EG-2013). De manera similar, el CBR del afirmado arrojó promedios de 36.02% al 100% y 28.56% al 95%, evidenciando una mayor capacidad en comparación con la subrasante. Los resultados en las tres calicatas presentan coherencia y permiten identificar un comportamiento mecánico uniforme en las capas estudiadas.

Estos valores se alinean con investigaciones previas que destacan la necesidad de estabilización en subrasantes con bajos índices de CBR para mejorar su desempeño como base para estructuras viales.

D2: Impacto de la Ceniza de Carbón en las Propiedades Mecánicas

La adición de ceniza de carbón (CC) a la subrasante demostró un efecto positivo en su capacidad de soporte:

- CBR natural + 6% CC: Promedio de 6.89% al 100% y 5.82% al 95%.
- CBR natural + 12% CC: Promedio de 13.81% al 100% y 9.13% al 95%.
- CBR natural + 18% CC: Promedio de 13.77% al 100% y 10.14% al 95%.

Se observó que el porcentaje óptimo de ceniza de carbón es del 12%, ya que obtuvo el mayor incremento en el CBR, mejorando la capacidad de soporte en comparación con el suelo natural. Estos resultados coinciden con el estudio de Huancoillo (2017), quien demostró que la adición de ceniza volante y cal mejora significativamente las cualidades mecánicas de suelos arcillosos, cumpliendo las especificaciones técnicas establecidas por el Manual EG-2013.

D3: Diseño de Afirmado y Determinación de Espesor

El espesor del afirmado fue calculado utilizando el método de AUSTROADS, obteniendo un valor de 137.15 mm. Este diseño consideró la baja circulación vehicular en



la zona de estudio y un valor de CBR mejorado. Este resultado es consistente con el estudio de Vargas (2020), quien concluyó que el uso de cenizas volcánicas mejora las cualidades mecánicas de suelos arcillosos, incrementando su CBR y transformándolos de "subrasante pobre" a "subrasante buena" según los criterios del MTC.

El espesor calculado proporciona una base estable para soportar las cargas vehiculares proyectadas, cumpliendo con las especificaciones normativas y garantizando la funcionalidad del pavimento en condiciones locales.

CONCLUSIONES

Primera, se mejoró la capacidad de soporte de la subrasante mediante la estabilización del suelo con un 12% de ceniza de carbón, logrando reducir el espesor de afirmado a 14 cm en la carretera Huatasani - Munaypa 2024, cumpliendo con las especificaciones mínimas del Manual EG-2013 del MTC.

Segunda, las propiedades mecánicas de las capas de subrasante y afirmado son relativamente bajas. La subrasante presenta un CBR promedio de 3.22% al 100% de la máxima densidad seca y 2.52% al 95%. En el caso del afirmado, el CBR promedio es de 36.02% al 100% de la máxima densidad seca y 28.56% al 95%.

Tercera, la incorporación de un 12% de ceniza de carbón mejoró significativamente las propiedades mecánicas del suelo de subrasante. Este porcentaje presentó el mejor desempeño, con un CBR promedio de 13.81% al 100% de la máxima densidad seca y 9.13% al 95%, resultados obtenidos como promedio de las tres calicatas realizadas en la carretera Huatasani – Munaypa.

Cuarta, el espesor del afirmado, calculado tras la estabilización de la subrasante mediante la ecuación de AUSTROADS, fue de 137.15 mm (equivalente a 14 cm). Este valor se confirmó utilizando la tabla de doble entrada del MTC, que sugiere un espesor de 15 cm, demostrando que el espesor mejorado cumple con las especificaciones mínimas requeridas.



RECOMENDACIONES

Primero, promover el uso de materiales de desecho en el mejoramiento de suelos, contribuyendo así a la mitigación de la contaminación ambiental. Diversos residuos o sus derivados en forma de cenizas pueden actuar como estabilizantes, logrando reducir la plasticidad y optimizar los niveles de compactación del suelo.

Segundo, la incorporación de ceniza de carbón ha demostrado mejorar las propiedades mecánicas de la subrasante, evidenciando un impacto favorable en comparación con la muestra sin tratamiento.

Tercero, explorar la aplicación de mayores proporciones de ceniza de carbón para identificar resultados más consistentes y precisos que potencien la capacidad de soporte del suelo en la carretera Huatasani – Munaypa.

Cuarto, se sugiere investigar el uso de otros estabilizadores químicos con el fin de ampliar las opciones disponibles para el mejoramiento de suelos y proporcionar soluciones efectivas en distintos contextos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2012). *El PROYECTO de INVESTIGACIÓN. Introducción a la metodología científica*. Caracas: Episteme.
- Badillo, A. R., & Guachamín, U. V. (2023). *Estabilización de suelos arcillosos mediante la utilización de cal viva y caucho reciclado de neumáticos, para mejoramiento de la subrasante en estructuras de pavimento flexible, en la urbanización 21 de enero (Ciudad: Tena)*. Quito-Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- BORJA.S. (2012). *METODOLOGIA DE INVESTIGACION CIENTIFICA PARA INGENIERIA CIVIL*.
- Callo, C. I., & Yapu, Y. W. (2022). *Influencia de la resina de pino con oxido de cal en las propiedades de la subrasante, vía Vilcapaza – Ayrapuni, Puno, 2022*. Lima-Perú: Universidad César Vallejo.
- Camacllanqui, C. G., & Rivera, C. J. (2021). *Estabilización de la subrasante incorporando cenizas de madera y fibra de coco en la av. Andrés Avelino Cáceres, Huancavelica - 2021*. Lima-Perú: Universidad César Vallejo.
- Cegara, S. J. (2019). *Los métodos de investigación*. España.
- Choquecota, Q. J. (2022). *Incorporación de mucílago de tuna para el mejoramiento de las propiedades de la subrasante en Av. Los Olivos, Arequipa-2022*. Lima-Perú: Universidad César Vallejo.
- Garcia. (2004). *Metodología de la Investigación*.
- Garcia, P. R. (2022). *Estabilización de subrasante con adición de ceniza de tusa de maíz y cáscara de maní en la carretera IC-1110171, Ica-2022*. Ica.Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Hernandez & Baptista. (2014). *Metodología de la investigación. Mc Graw Hill*. Mexico.
- Iquira, C. M. (2022). *Estabilidad de suelos arcillosos con cenizas cisco de café para el mejoramiento de subrasante*. Juliaca-Perú: Universidad Peruana Unión.



- Jara, H. J. (2024). *Estabilización de suelos arcillosos incorporando cenizas de madera (aserrín), en su comportamiento mecánico – deformacional para el mejoramiento de la subrasante, de las vías de la urbanización las gardenias de la ciudad de Juliaca*. Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Lopez, V. R., & Zapata, S. G. (2021). *Estabilización de suelo con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante en el distrito - Tumbes, 2021*. Lima - Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Lozano, B. E., Ruiz, R. J., & Alfonso, J. C. (2017). *Análisis del mejoramiento de un suelo de subrasante con un aditivo orgánico*. Bogotá-Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- PAJUELO & CHAVEZ . (2015). *Sistema para reservas online en restaurantes*.
- Ramirez, E. R. (2022). *Estudio del efecto de la ceniza de cascara de arroz en las propiedades fisico-mecánicas en suelos finos de subrasante*. Ambato-Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Rodríguez, V. D. (2019). *Análisis comparativo de la compactación y humedad de la subrasante natural y la subrasante utilizando productos químicos biodegradables (terrasil), de la vía ecológica del cantón Quevedo, provincia de los ríos*. Ambato-Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Tanta, P. L. (2022). *Influencia del mucílago de nopal en el mejoramiento de la subrasante de suelo arcilloso de la carretera Rosario-Sivia, Ayacucho, 2022*. Huancayo-Perú: Universidad Continental.



ANEXOS



Anexo 1. Matriz de Consistencia

TITULO DE TESIS: “MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA 2024”				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p>Problema General:</p> <p>¿Cómo se puede mejorar la capacidad de soporte de la subrasante mediante la incorporación de ceniza de carbón para reducir el espesor del afirmado en la carretera Huatasani - Munaypa 2024?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Mejorar la capacidad de soporte de la subrasante mediante la incorporación de ceniza de carbón, optimizando el espesor del afirmado en la carretera Huatasani - Munaypa 2024.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>La incorporación de ceniza de carbón mejora la capacidad de soporte de la subrasante y permitirá reducir el espesor del afirmado en la carretera Huatasani - Munaypa 2024.</p>	<p>Variable 1:</p> <p><i>CENIZA DE CARBÓN</i></p> <p>Dimensiones:</p> <p>Porcentajes de incorporación de ceniza de carbón en 6%, 12% y 18%.</p>	Fichas y formatos de campo
<p>Problemas Específicos</p> <p>¿Cuáles son las propiedades mecánicas actuales de la subrasante y del afirmado en la carretera Huatasani - Munaypa?</p> <p>¿Cómo afecta la incorporación de diferentes porcentajes de ceniza de carbón a las propiedades mecánicas de la subrasante en la carretera Huatasani - Munaypa?</p> <p>¿Cuál es el espesor óptimo del afirmado en función de las propiedades mejoradas de la subrasante y las cargas actuales en la carretera Huatasani - Munaypa?</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <p>Determinar las propiedades mecánicas actuales de la subrasante y la capa de afirmado en la carretera Huatasani - Munaypa.</p> <p>Evaluar el efecto de incorporar diferentes porcentajes de ceniza de carbón en las propiedades mecánicas del suelo de subrasante en la carretera Huatasani - Munaypa.</p> <p>Calcular el espesor óptimo del afirmado considerando las propiedades mejoradas de la subrasante y las cargas equivalentes actuales en la carretera Huatasani - Munaypa.</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>Las propiedades mecánicas actuales de la subrasante y el afirmado serán insuficientes para soportar las condiciones de tráfico en la carretera Huatasani - Munaypa.</p> <p>La adición de ceniza de carbón incrementara el CBR y la densidad de la subrasante, mejorando su capacidad de soporte.</p> <p>La estabilización de la subrasante con ceniza de carbón permitirá reducir el espesor del afirmado cumpliendo con los estándares técnicos requeridos.</p>	<p>Variable 2:</p> <p><i>CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE SUBRASANTE</i></p> <p>Dimensiones:</p> <p>CBR</p> <p>Variable 3:</p> <p><i>ESPESOR DE AFIRMADO</i></p> <p>Dimensiones:</p> <p>CBR IMDA</p>	



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024

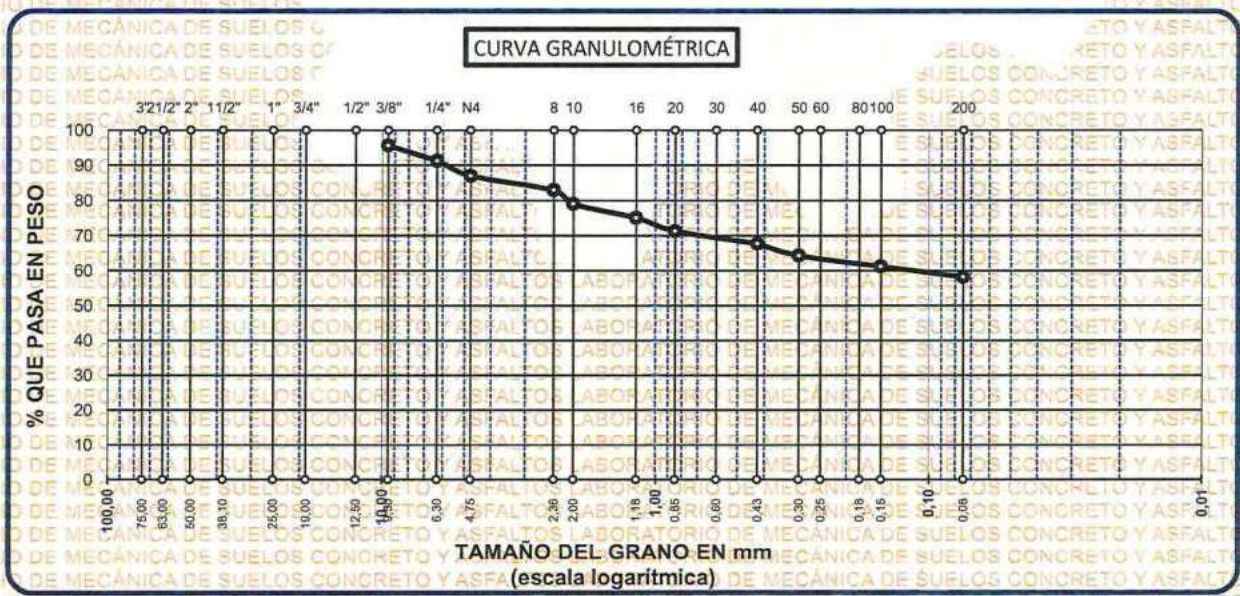
SOLICITANTE : BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO

LUGAR : CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA

MUESTRA : CALICATA 1 - MUESTRA 1

FECHA : 27 DE AGOSTO DEL 2023

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MAXIMO:
3"	75,000						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2 1/2"	63,000						P.I.= 2500,00
2"	50,000						P.L.= 1045,22
1 1/2"	38,100						P.P.= 1454,78
1"	25,000						% w = 18,87
3/4"	19,000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12,500						L.L.= 38,43
3/8"	9,500	110,54	4,42	4,42	95,58		L.P.= 19,21
1/4"	6,300	108,49	4,34	8,76	91,24		I.P.= 19,21
No4	4,750	106,48	4,26	13,02	86,98		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2,360	101,38	4,06	17,08	82,92		D10= --- Cu= ---
No10	2,000	98,43	3,94	21,01	78,99		D30= --- Cc= ---
No16	1,180	96,71	3,87	24,88	75,12		D60= 0,12
No20	0,850	94,38	3,78	28,66	71,34		CLASIFICACIÓN:
No30	0,600						I.G. = :
No40	0,425	89,84	3,59	32,25	67,75		SUCS : CH
No 50	0,300	86,49	3,46	35,71	64,29		ASSTHO : A-7
No60	0,250						OBSERVACIONES:
No80	0,180						
No100	0,150	77,29	3,09	38,80	61,20		
No200	0,075	75,19	3,01	41,81	58,19		
BASE		1454,78	58,19	100,00	0,00		
TOTAL		2500,00	100,00				
% PERDIDA		58,19					



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

LABORATORIO M.S.C.A. INVESTIGACIÓN
 FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024

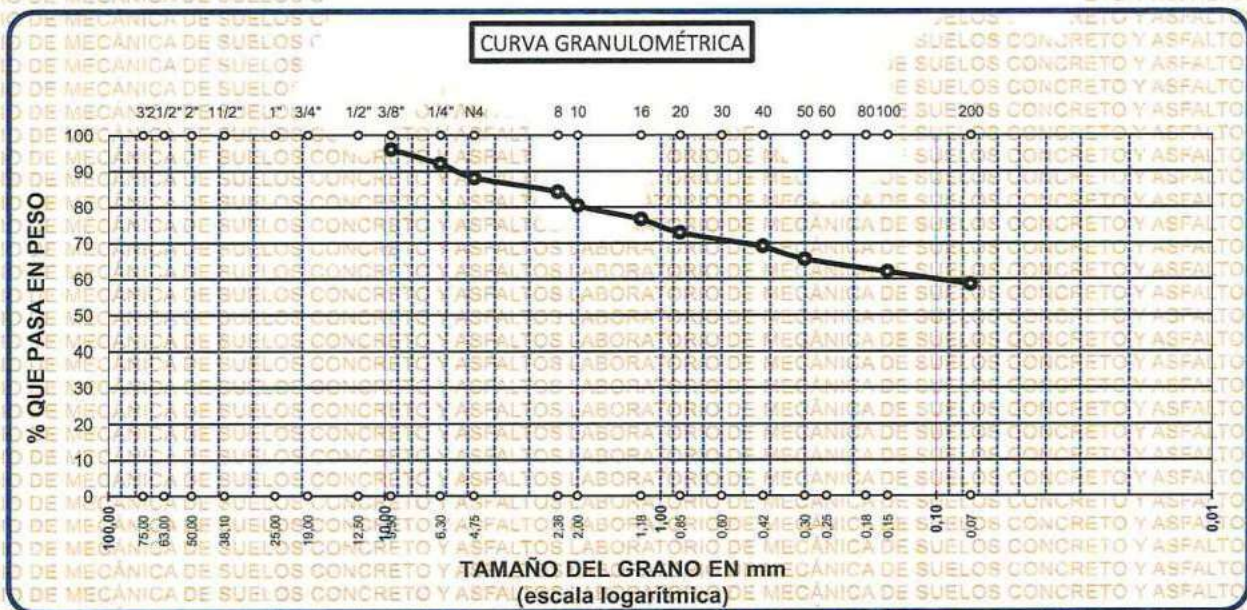
SOLICITANTE : BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO

LUGAR : CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA

MUESTRA : CALICATA 2 - MUESTRA 2

FECHA : 27 DE AGOSTO DEL 2023

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75,000						P.I.= 2500,00
2-1/2"	63,000						P.L.= 1037,02
2"	50,000						P.P.= 1462,98
1-1/2"	38,100						% W = 18,87
1"	25,000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19,000						LL.= 38,43
1/2"	12,500						L.P.= 19,21
3/8"	9,500	100,00	4,00	4,00	96,00		I.P.= 19,21
1/4"	6,300	99,15	3,97	7,97	92,03		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4,750	97,48	3,90	11,87	88,13		D10= --- Cu= ---
No8	2,360	96,78	3,87	15,74	84,26		D30= --- Cc= ---
No10	2,000	96,17	3,85	19,58	80,42		D60= 0,11
No16	1,180	94,99	3,80	23,38	76,62		CLASIFICACIÓN:
No20	0,850	94,27	3,77	27,15	72,85		I.G. = :
No30	0,600						SUCS : CH
No40	0,425	93,21	3,73	30,88	69,12		ASSTHO : A-7
No 50	0,300	90,08	3,60	34,49	65,51		OBSERVACIONES:
No60	0,250						
No80	0,180						
No100	0,150	88,46	3,54	38,02	61,98		
No200	0,075	86,43	3,46	41,48	58,52		
BASE		1462,98	58,52	100,00	0,00		
TOTAL		2500,00	100,00				
% PERDIDA		58,52					



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



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



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024

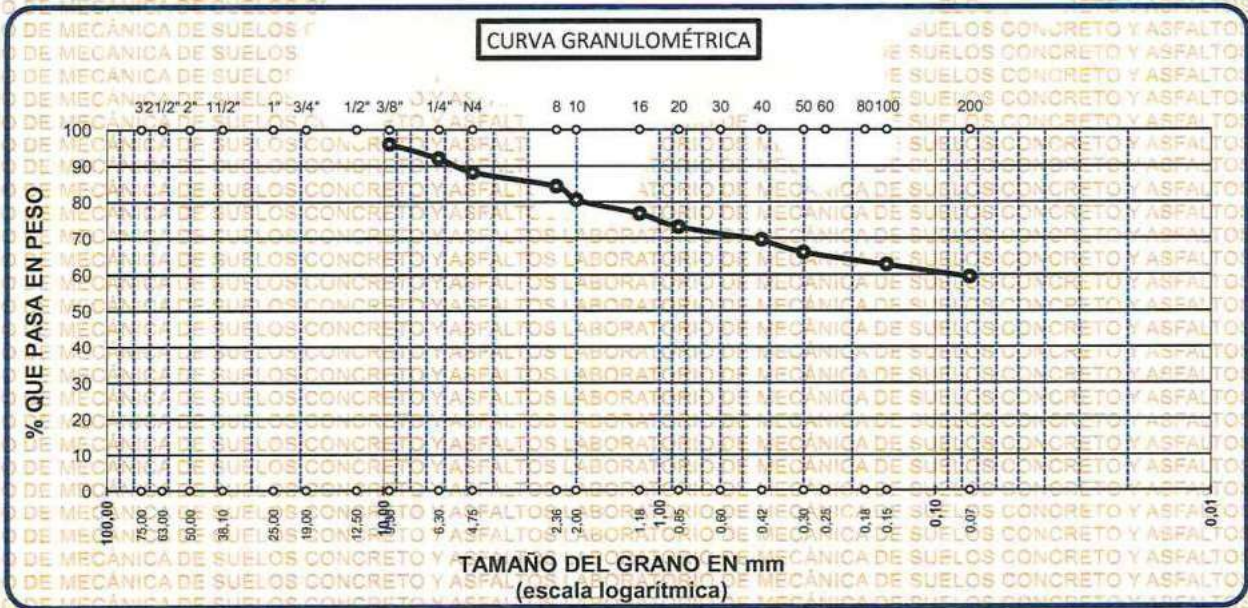
SOLICITANTE : BACHILLER ALEX ANTONY CUITIPA MACHICADO

LUGAR : CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA

MUESTRA : CALICATA 3 - MUESTRA 3

FECHA : 27 DE AGOSTO DEL 2023

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.= 1017,63
1 1/2"	38,100						P.P.= 1482,37
1"	25,000						% w = 18,87
3/4"	19,000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12,500						LL.= 38,43
3/8"	9,500	100,00	4,00	4,00	96,00		L.P.= 19,21
1/4"	6,300	98,38	3,94	7,94	92,06		I.P.= 19,21
No4	4,750	97,05	3,88	11,82	88,18		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2,360	96,22	3,85	15,67	84,33		D10= ---- Cu= ----
No10	2,000	95,69	3,83	19,49	80,51		D30= ---- Cc= ----
No16	1,180	93,61	3,74	23,24	76,76		D60= 0,09
No20	0,850	91,63	3,67	26,90	73,10		CLASIFICACIÓN:
No30	0,600						I.G. = :
No40	0,425	88,95	3,56	30,46	69,54		SUCS : CH
No 50	0,300	87,34	3,49	33,95	66,05		ASSTHO : A-7
No60	0,250						OBSERVACIONES:
No80	0,180						
No100	0,150	84,89	3,40	37,35	62,65		
No200	0,075	83,87	3,35	40,71	59,29		
BASE		1482,37	59,29	100,00	0,00		
TOTAL		2500,00	100,00				
% PERDIDA		59,29					



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - ESC. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO M.S.C.I.A. CUITIPA MACHICADO



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 : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024

SOLICITANTE : BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO

LUGAR : CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA

MUESTRA : CALICATA 1 - MUESTRA 1

FECHA : 27 DE AGOSTO DEL 2023

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	97,10
SUELO SECO + TARRO	gr	86,05
PESO DEL TARRO	gr	27,50
PESO DEL AGUA	gr	11,05
PESO DEL SUELO SECO	gr	58,55
HUMEDAD %	%	18,87

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

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	33,21	32,94	33,38
SUELO SECO + TARRO	gr	29,74	29,44	30,69
PESO DEL TARRO	gr	20,45	20,22	23,96
PESO DEL AGUA	gr	3,47	3,50	2,69
PESO DEL SUELO SECO	gr	9,29	9,22	6,73
HUMEDAD %	%	37,35	37,96	39,97
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
21,48	21,95
20,24	20,78
14,05	14,42
1,24	1,17
6,19	6,36
20,03	18,40

LÍMITE LÍQUIDO % : 38,43

LÍMITE PLÁSTICO % : 19,21

ÍNDICE PLÁSTICO % : 19,21

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
 I.M.S.C.A. - I.E.FEATUFA
 JULIACA - PERÚ
 UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL
 Mgr. Arnaldo Yano Torres
 DIP. 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 : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024
SOLICITANTE : BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO
LUGAR : CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA
MUESTRA : CALICATA 2 - MUESTRA 2
FECHA : 27 DE AGOSTO DEL 2023

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	100,05
SUELO SECO + TARRO	gr	89,00
PESO DEL TARRO	gr	27,50
PESO DEL AGUA	gr	11,05
PESO DEL SUELO SECO	gr	61,50
HUMEDAD %	%	17,97

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

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	33,06	32,71	32,89
SUELO SECO + TARRO	gr	30,18	29,82	30,25
PESO DEL TARRO	gr	22,74	22,48	23,41
PESO DEL AGUA	gr	2,88	2,89	2,64
PESO DEL SUELO SECO	gr	7,44	7,34	6,84
HUMEDAD %	%	38,71	39,37	38,60
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
21,95	21,46
20,22	20,63
11,21	16,55
1,73	0,83
9,01	4,08
19,20	20,34

LÍMITE LÍQUIDO % : 38,89

LÍMITE PLÁSTICO % : 19,77

ÍNDICE PLÁSTICO % : 19,12

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes

Mgr. Armando Yana Torres
C.I.F. 117225



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

MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024

SOLICITANTE

BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO

LUGAR

CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA

MUESTRA

CALICATA 3 - MUESTRA 3

FECHA

27 DE AGOSTO DEL 2023

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	96,50
SUELO SECO + TARRO	gr	85,45
PESO DEL TARRO	gr	27,50
PESO DEL AGUA	gr	11,05
PESO DEL SUELO SECO	gr	57,95
HUMEDAD %	%	19,07

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

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	32,88	32,23	33,11
SUELO SECO + TARRO	gr	29,96	29,86	30,16
PESO DEL TARRO	gr	22,53	23,75	22,74
PESO DEL AGUA	gr	2,92	2,37	2,95
PESO DEL SUELO SECO	gr	7,43	6,11	7,42
HUMEDAD %	%	39,30	38,79	39,76
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
21,43	21,53
20,34	20,81
14,62	17,48
1,09	0,72
5,72	3,33
19,06	21,62

LÍMITE LÍQUIDO % : 39,28

LÍMITE PLÁSTICO % : 20,34

ÍNDICE PLÁSTICO % : 18,94

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

Donde:

LL = Límite Líquido

W_n = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
M.S.C.A. INVESTIGADOR
Mgtr. Arnaldo Yana Torres
C.I. 403257



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACION DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCION DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA
SOLICITANTE	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO
UBICACIÓN	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
MUESTRA	CALICATA 1 - AFIRMADO
FECHA	2 DE SETIEMBRE 2024

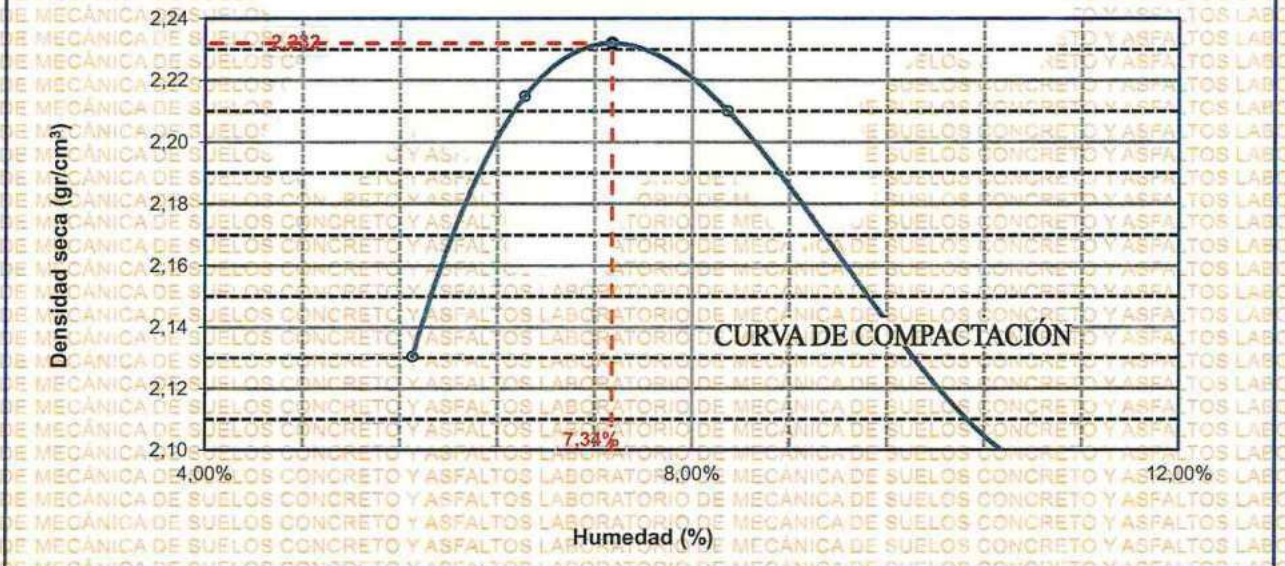
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 913 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	6195	6295	6324	6257
Peso del Molde	gr.	4139	4139	4139	4139
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2056	2156	2185	2118
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	2,252	2,361	2,393	2,320

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	424,26	445,37	387,00	397,00	378,61	339,84	351,21	373,39
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	397,33	431,54	368,05	374,05	355,31	316,05	321,77	344,01
Peso del Agua	gr.	26,93	13,83	18,95	22,95	23,30	23,79	29,44	29,38
Peso de la Capsula	gr.	52,72	46,59	51,54	57,93	52,16	48,70	55,93	59,76
Peso del Suelo Seco	gr.	344,61	384,95	316,51	316,12	303,15	267,35	265,84	284,25
% de Humedad	%	7,81%	3,59%	5,99%	7,26%	7,69%	8,90%	11,07%	10,34%
Promedio de Humedad	%	5,70%		6,62%		8,29%		10,71%	
Densidad del Suelo Seco	%	2,130		2,215		2,210		2,095	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 2,232 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 7,34%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



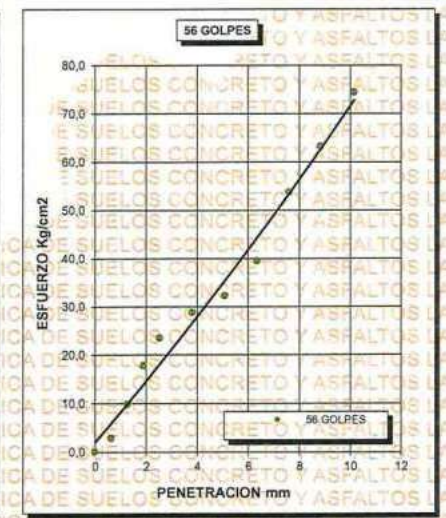
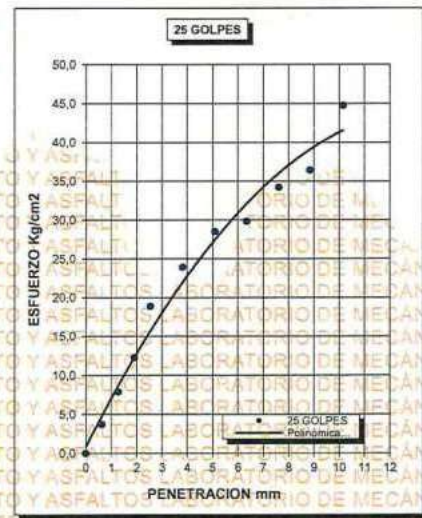
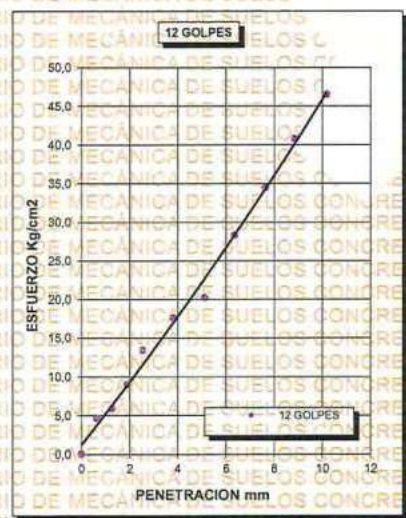
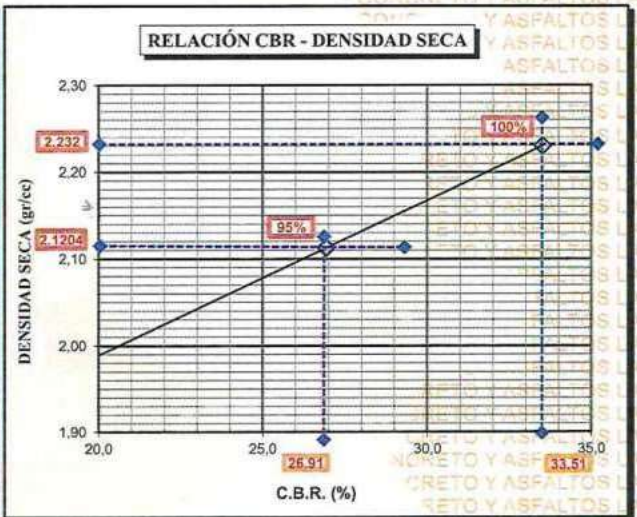
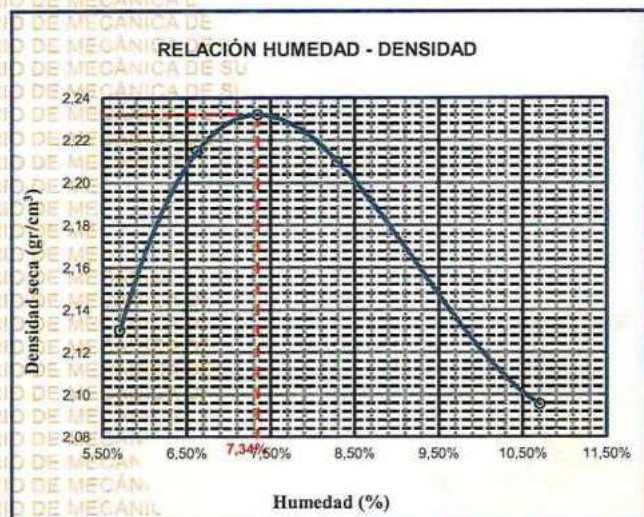
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 M.S.C.A. JEFATURA
 Dr. Arjaldo Lana Torres
 CIP 103257



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 :	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.): 2,232
UBICACIÓN :	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS	HUMEDAD OPTIMA (%) 7,34%
MUESTRA :	CALICATA 1 - AFIRMADO	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 33,51
FECHA :	2 DE SETIEMBRE 2024	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 26,91
		CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



CBR 19,10

CBR 26,93

CBR 33,51

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

[Firma]
Mgtr. Arnaldo Yana Torres
CIF 103257



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACION DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMAO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA
SOLICITANTE	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO
UBICACIÓN	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
MUESTRA	CALICATA 2 - AFIRMAO
FECHA	2 DE SETIEMBRE 2024

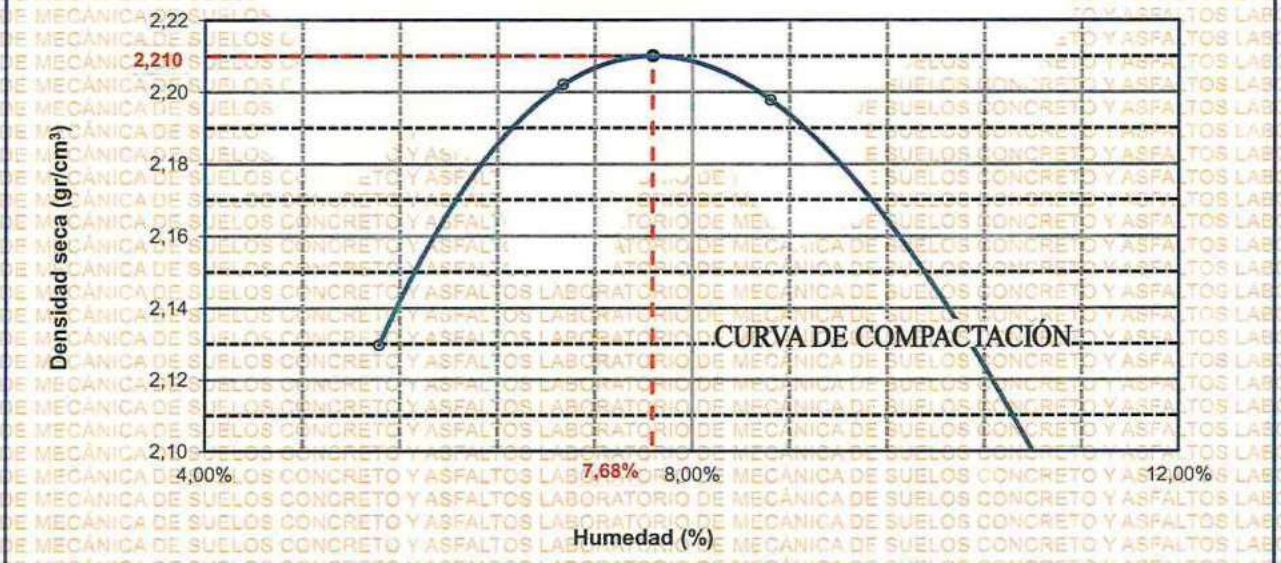
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	913 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	6189	6289	6319	6251
Peso del Molde	gr.	4139	4139	4139	4139
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2050	2150	2180	2112
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	2,245	2,355	2,388	2,313

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	423,26	444,37	388,00	398,00	379,61	340,84	352,21	374,39
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	397,33	431,54	368,05	374,05	355,31	316,05	321,77	344,01
Peso del Agua	gr.	25,93	12,83	19,95	23,95	24,30	24,79	30,44	30,38
Peso de la Capsula	gr.	52,72	46,59	51,54	57,93	52,16	48,70	55,93	59,76
Peso del Suelo Seco	gr.	344,61	384,95	316,51	316,12	303,15	267,35	265,84	284,25
% de Humedad	%	7,52%	3,33%	6,30%	7,58%	8,02%	9,27%	11,45%	10,69%
Promedio de Humedad	%	5,43%		6,94%		8,64%		11,07%	
Densidad del Suelo Seco	%	2,130		2,202		2,198		2,083	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	2,210 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	7,68%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



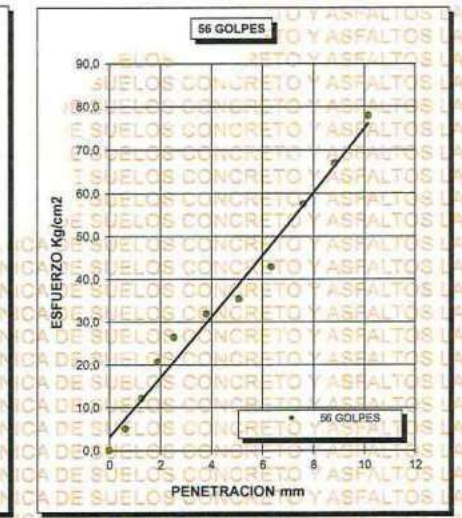
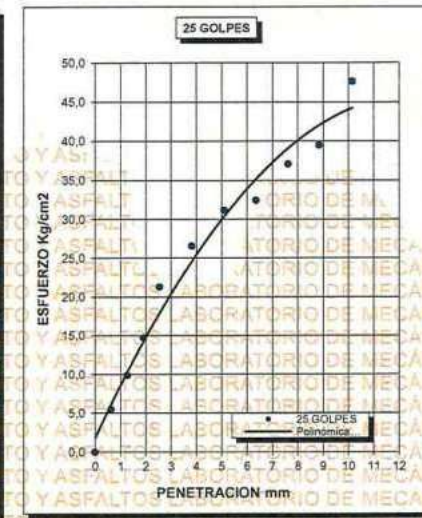
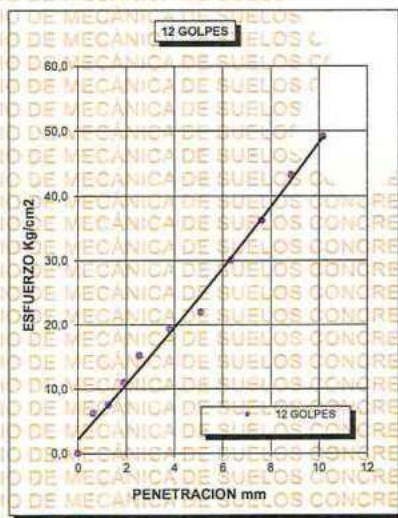
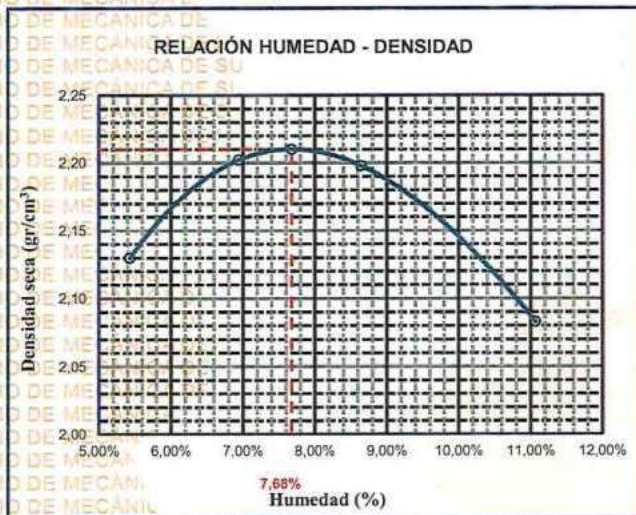
Mgtr. Arnaldo Yana Torres
C.I.P. 193257



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 :	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³): 2,210
UBICACIÓN :	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS	HUMEDAD OPTIMA (%) 7,68%
MUESTRA :	CALICATA 2 - AFIRMADO	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 37,59
FECHA :	2 DE SETIEMBRE 2024	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 29,96
		CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



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

Mgtr. Arnaldo Yano Torres
C.P. 10327

LABORATORIO M.S.C.A. DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA
SOLICITANTE	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO
UBICACIÓN	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
MUESTRA	CALICATA 3 - AFIRMADO
FECHA	3 DE SETIEMBRE 2024

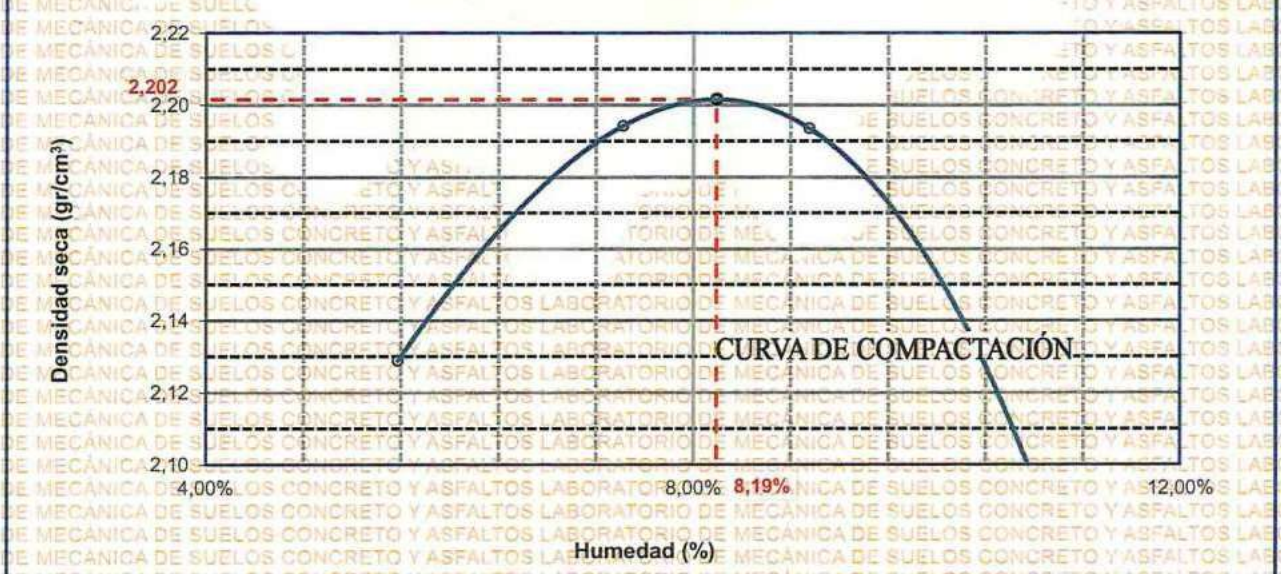
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	913 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	6191	6291	6321	6253
Peso del Molde	gr.	4139	4139	4139	4139
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2052	2152	2182	2114
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	2,248	2,357	2,390	2,315

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	425,26	445,37	392,01	399,05	383,61	340,84	352,21	375,39
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	398,33	432,54	369,05	375,05	356,31	317,05	322,77	345,01
Peso del Agua	gr.	26,93	12,83	22,96	24,00	27,30	23,79	29,44	30,38
Peso de la Capsula	gr.	53,72	47,59	52,54	58,93	53,16	49,70	56,93	60,76
Peso del Suelo Seco	gr.	344,61	384,95	316,51	316,12	303,15	267,35	265,84	284,25
% de Humedad	gr.	7,81%	3,33%	7,25%	7,59%	9,01%	8,90%	11,07%	10,69%
Promedio de Humedad	%	5,57%		7,42%		8,95%		10,88%	
Densidad del Suelo Seco	%	2,129		2,194		2,194		2,088	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	2,202 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	8,19%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



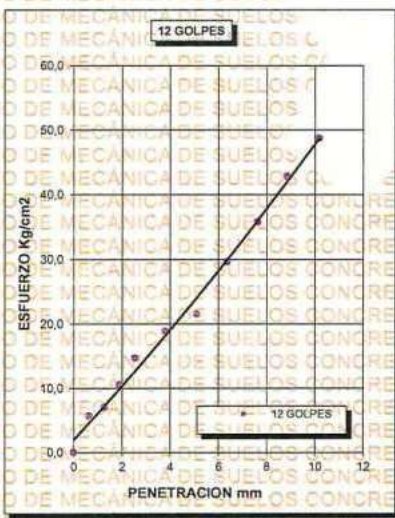
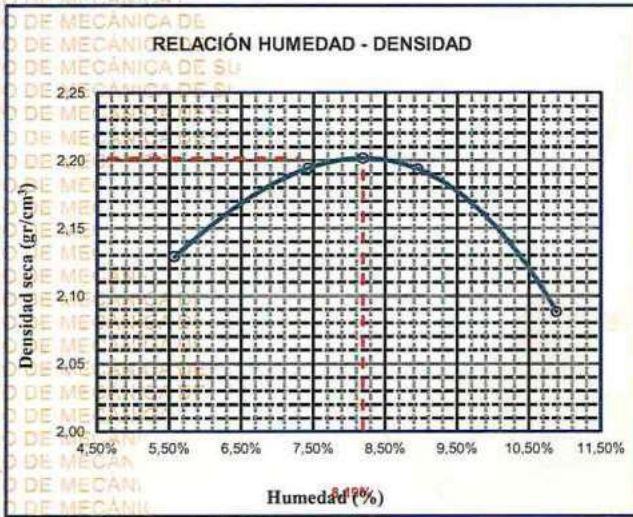
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
M.S.C.A. JEFATURA
M/r. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



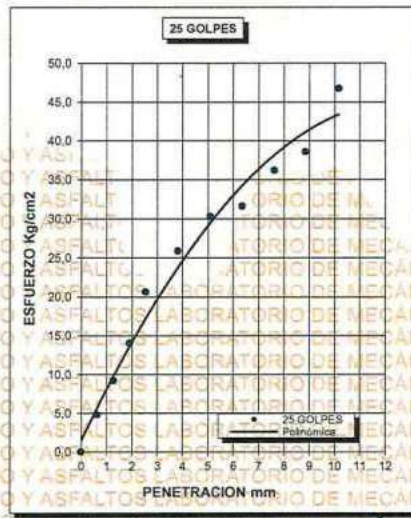
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



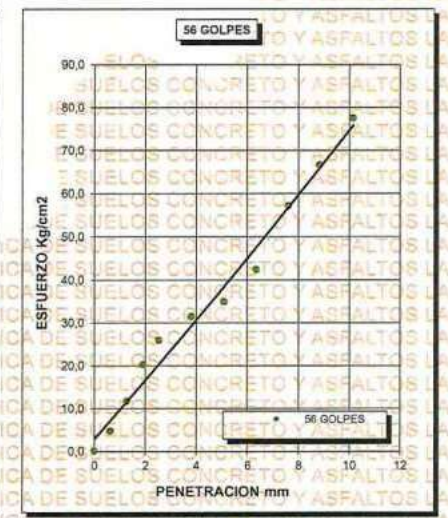
PROYECTO :	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.): 2,202
UBICACIÓN :	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS	HUMEDAD OPTIMA (%) 8,19%
MUESTRA :	CALICATA 3 - AFIRMADO	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 36,96
FECHA :	3 DE SETIEMBRE 2024	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 28,81
		CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



CBR 20,98



CBR 29,44



CBR 36,96



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Mgty. Arnaldo Yana Torres
CIP: 103257



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMAO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024
SOLICITANTE	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO
UBICACIÓN	CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA
MUESTRA	C-1 MUESTRA 1+6% CENIZA DE CARBÓN
FECHA	4 DE SETIEMBRE DEL 2024

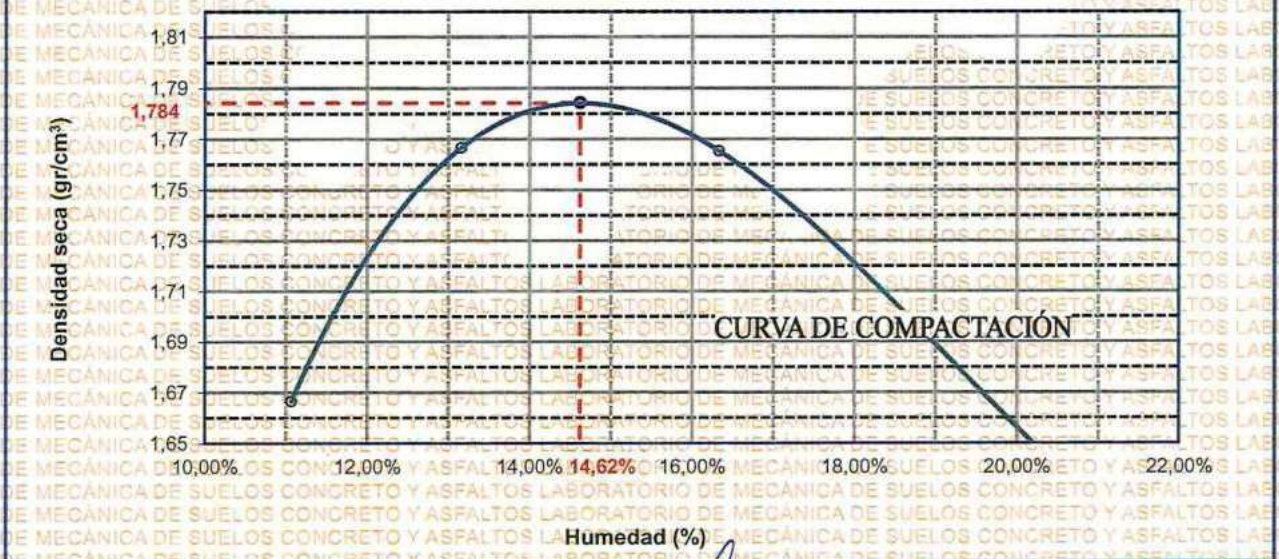
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 933 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	6045	6072	6021	5883
Peso del Molde	gr.	4156	4156	4156	4156
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1889	1916	1865	1727
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	2,025	2,054	1,999	1,851

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	70,73	74,32	82,85	92,43	80,73	93,16	92,52	91,56
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	59,75	65,72	75,68	81,56	74,30	84,43	86,31	84,33
Peso del Agua	gr.	10,98	8,60	7,17	10,87	6,43	8,73	6,21	7,23
Peso de la Capsula	gr.	21,79	26,52	21,42	25,66	23,63	20,34	25,04	24,06
Peso del Suelo Seco	gr.	37,96	39,20	54,26	55,90	50,67	64,09	61,27	60,27
% de Humedad	%	28,93%	21,94%	13,21%	19,45%	12,69%	13,62%	10,14%	12,00%
Promedio de Humedad	%	25,43%		16,33%		13,16%		11,07%	
Densidad del Suelo Seco	%	1,614		1,765		1,767		1,667	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1,784 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 14,62%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



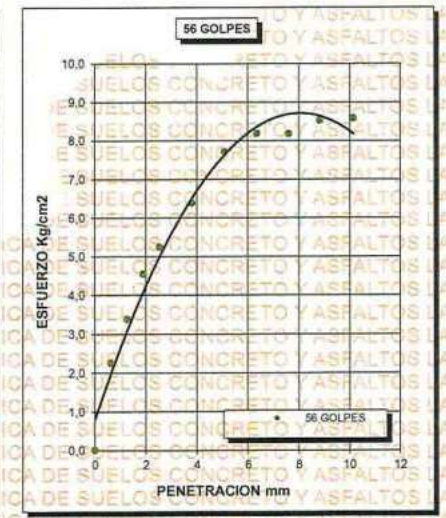
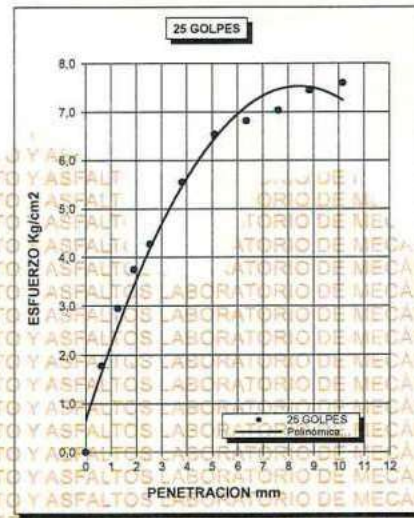
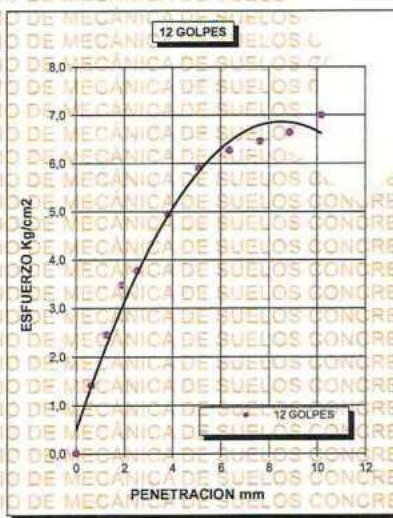
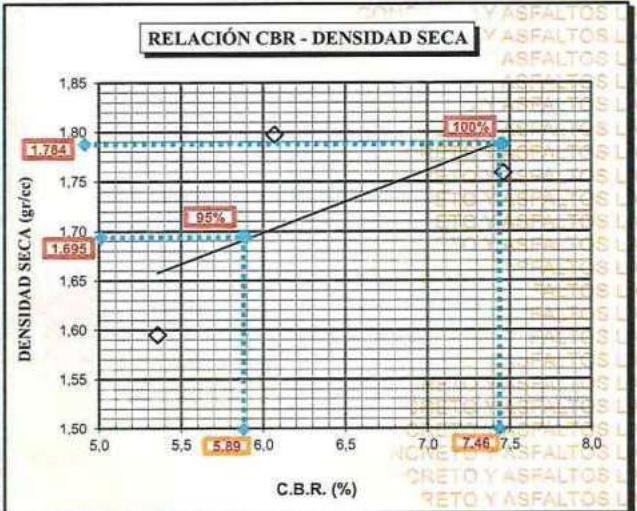
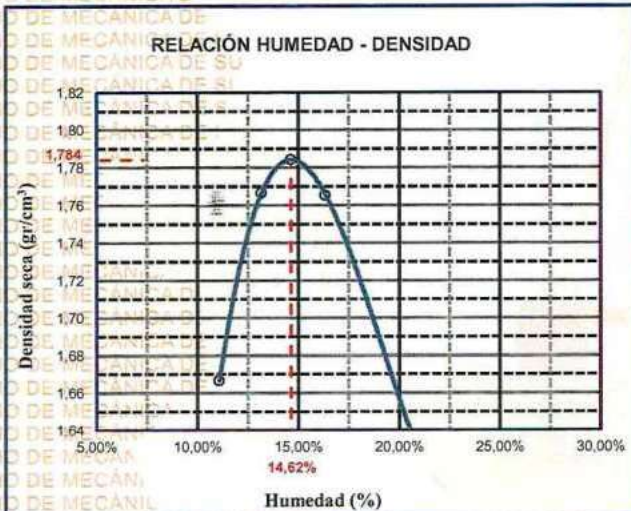
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 Mtro. Arnaldo Yana Torres
 CIP 102257



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	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.)	1,784
UBICACIÓN	CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA	HUMEDAD OPTIMA (%)	14,62%
MUESTRA	C-1 MUESTRA 1 + 6% CENIZA DE CARBÓN	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	7,46
FECHA	4 DE SETIEMBRE DEL 2024	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	5,89
		CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS

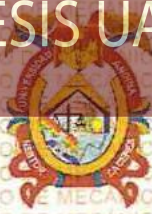


CBR 5,36

CBR 6,07

CBR 7,46

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Mgtr. Arnaldo Yata Torres
CIP. 103257



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACION DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCION DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024
SOLICITANTE	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO
UBICACIÓN	CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA
MUESTRA	C-2 MUESTRA 2 + 6% CENIZA DE CARBÓN
FECHA	4 DE SETIEMBRE DEL 2024

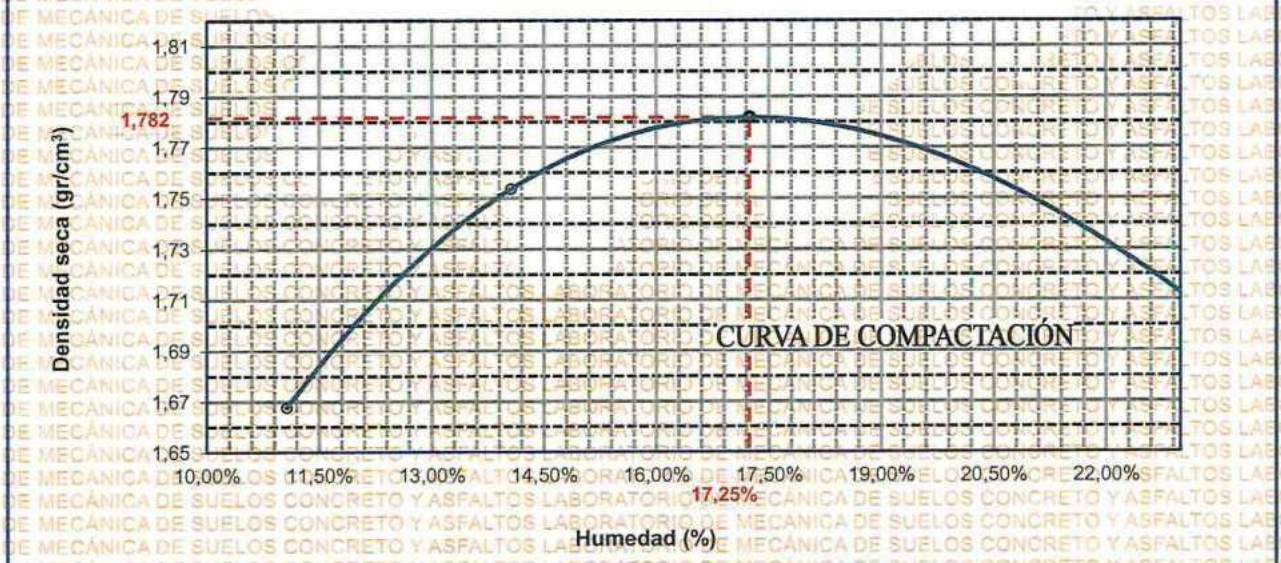
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	933 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	6042	6073	6022	5884
Peso del Molde	gr.	4156	4156	4156	4156
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1886	1917	1866	1728
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2,021	2,055	2,000	1,852

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	69,88	76,48	87,90	92,59	81,81	93,30	92,68	91,70
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	59,90	64,90	71,84	80,71	74,45	84,59	86,45	84,49
Peso del Agua	gr.	9,98	11,58	16,06	11,88	7,36	8,71	6,23	7,21
Peso de la Capsula	gr.	21,94	26,67	21,58	24,73	23,78	20,50	25,20	24,22
Peso del Suelo Seco	gr.	37,96	38,23	50,26	55,98	50,67	64,09	61,25	60,27
% de Humedad	%	26,29%	30,29%	31,95%	21,22%	14,53%	13,59%	10,17%	11,96%
Promedio de Humedad	%	28,29%		26,59%		14,06%		11,07%	
Densidad del Suelo Seco	%	1,576		1,623		1,753		1,668	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1,782 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	17,2%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



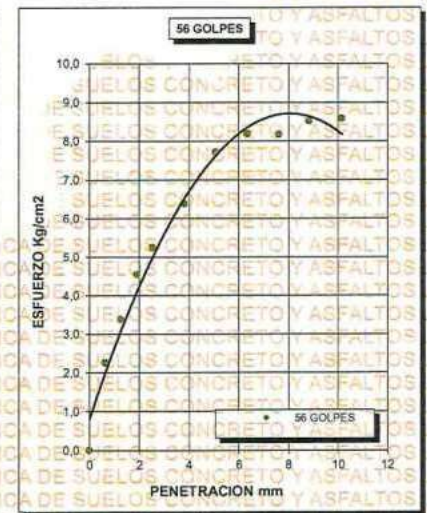
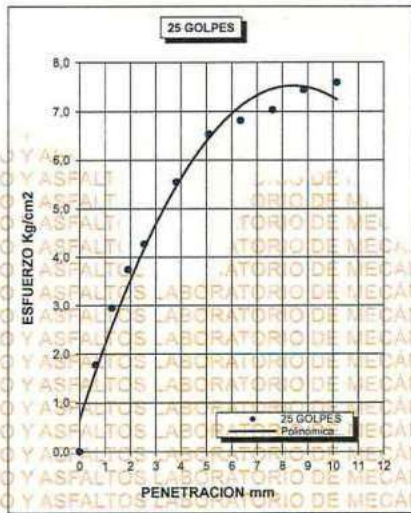
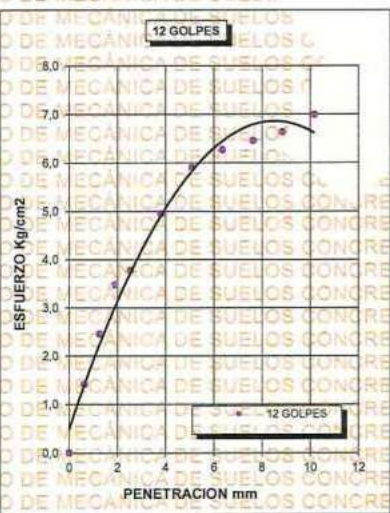
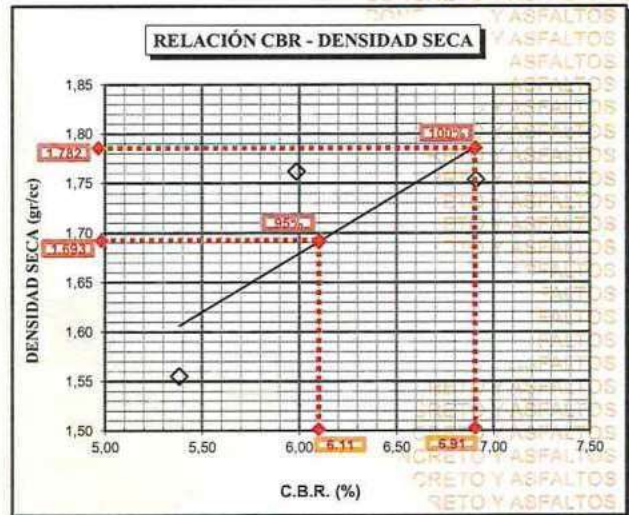
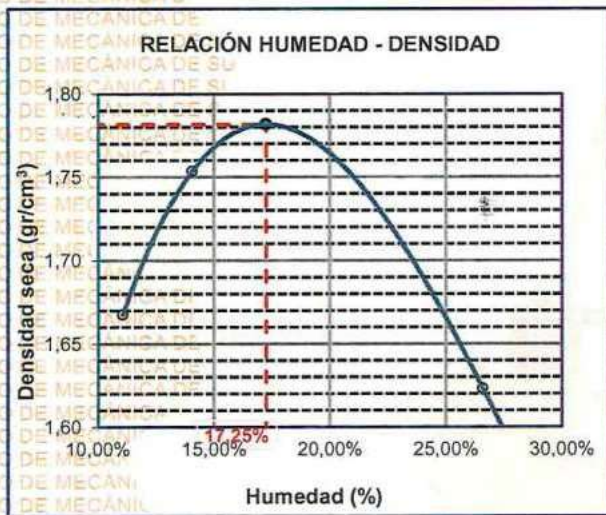
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 M.S.C.A. JEFATURA
 Mgtr. Arnaldo Yana Torres
 CIP. 103237



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 :	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO :	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.)	1,782
UBICACIÓN :	CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA	HUMEDAD OPTIMA (%)	17,2%
MUESTRA :	C-2 MUESTRA 2 + 6% CENIZA DE CARBÓN	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	6,91
FECHA :	4 DE SETIEMBRE DEL 2024	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	6,11
		CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Mgtr. Arnaldo Yana Torres



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

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024
SOLICITANTE	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO
UBICACIÓN	CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA
MUESTRA	C-3 MUESTRA 3 + 6% CENIZA DE CARBÓN
FECHA	5 DE SETIEMBRE DEL 2024

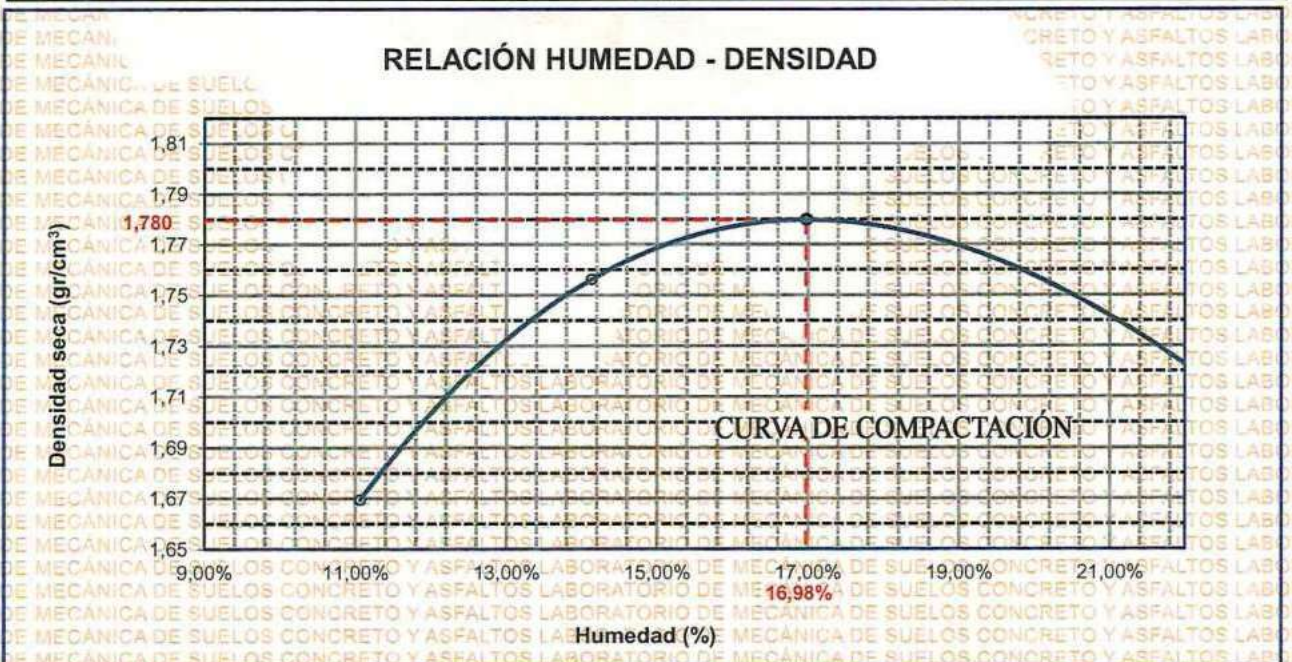
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 933 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	6044	6075	6026	5886
Peso del Molde	gr.	4156	4156	4156	4156
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1888	1919	1870	1730
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	2,024	2,057	2,004	1,854

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	70.01	75.61	87.45	92.72	82.02	93.43	92.81	91.83
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	60.03	65.03	72.07	81.84	74.58	84.73	86.58	84.62
Peso del Agua	gr.	9.98	10.58	15.38	10.88	7.44	8.70	6.23	7.21
Peso de la Capsula	gr.	22.05	26.80	22.71	25.86	23.93	20.63	25.31	24.35
Peso del Suelo Seco	gr.	37.98	38.23	49.36	55.98	50.65	64.10	61.27	60.27
% de Humedad	%	26.28%	27.67%	31.16%	19.44%	14.69%	13.57%	10.17%	11.96%
Promedio de Humedad	%	26,98%		25,30%		14,13%		11,07%	
Densidad del Suelo Seco	%	1,594		1,642		1,756		1,669	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1,780 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 16,98%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



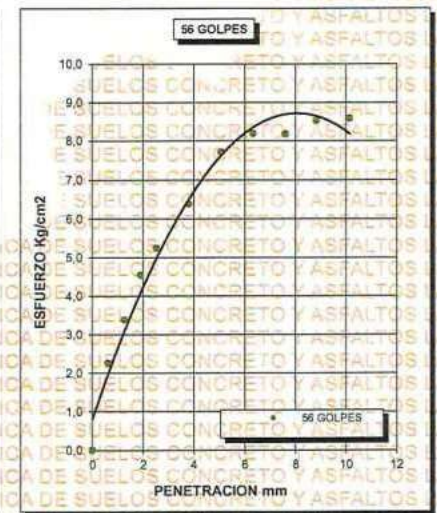
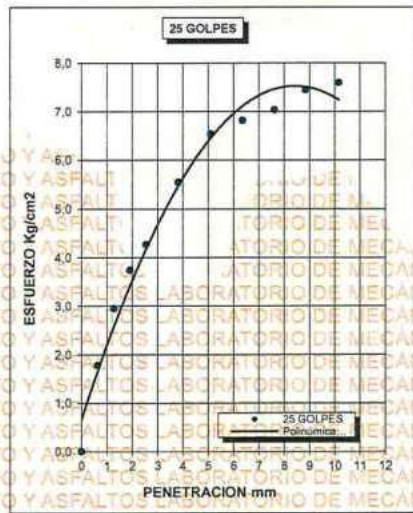
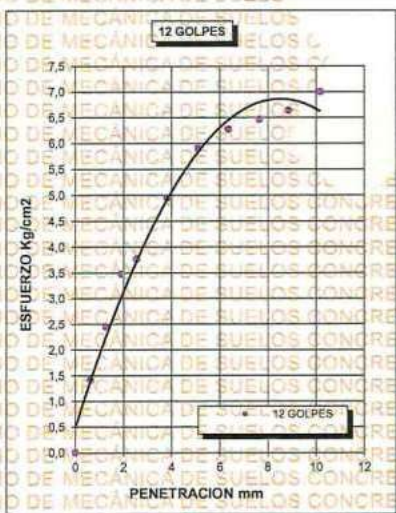
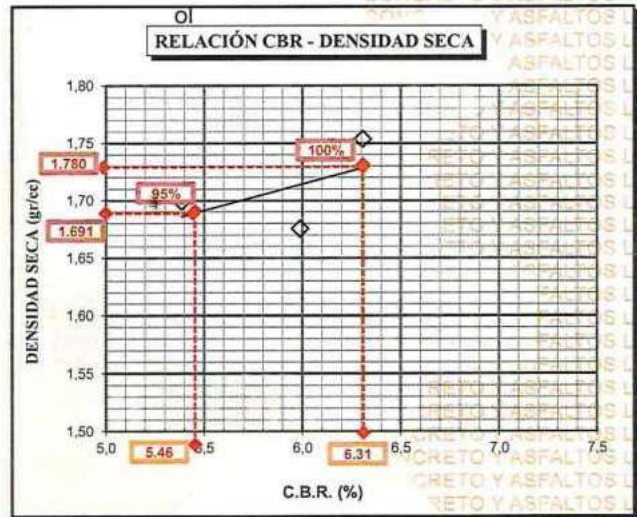
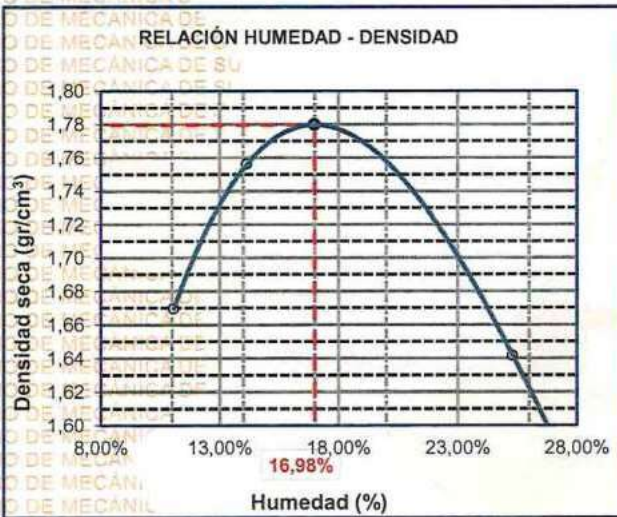
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL
 M.S.C.A. (FEATURADA)
 Mgf. Arnaldo Yana Torres
 CIP 103257



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



PROYECTO :	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.): 1,780
UBICACIÓN :	CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA	HUMEDAD OPTIMA (%) 16,98%
MUESTRA :	C-3 MUESTRA 3 + 6% CENIZA DE CARBÓN	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 6,31
FECHA :	4 DE SETIEMBRE DEL 2024	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 5,46
		CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



CBR 5,39

CBR 5,99

CBR 6,31

LABORATORIO M.S.C.A.



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA 2024
SOLICITANTE	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO
UBICACIÓN	CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA
MUESTRA	C-1 MUESTRA 1 + 12% CENIZA DE CARBÓN
FECHA	6 DE SETIEMBRE DEL 2024

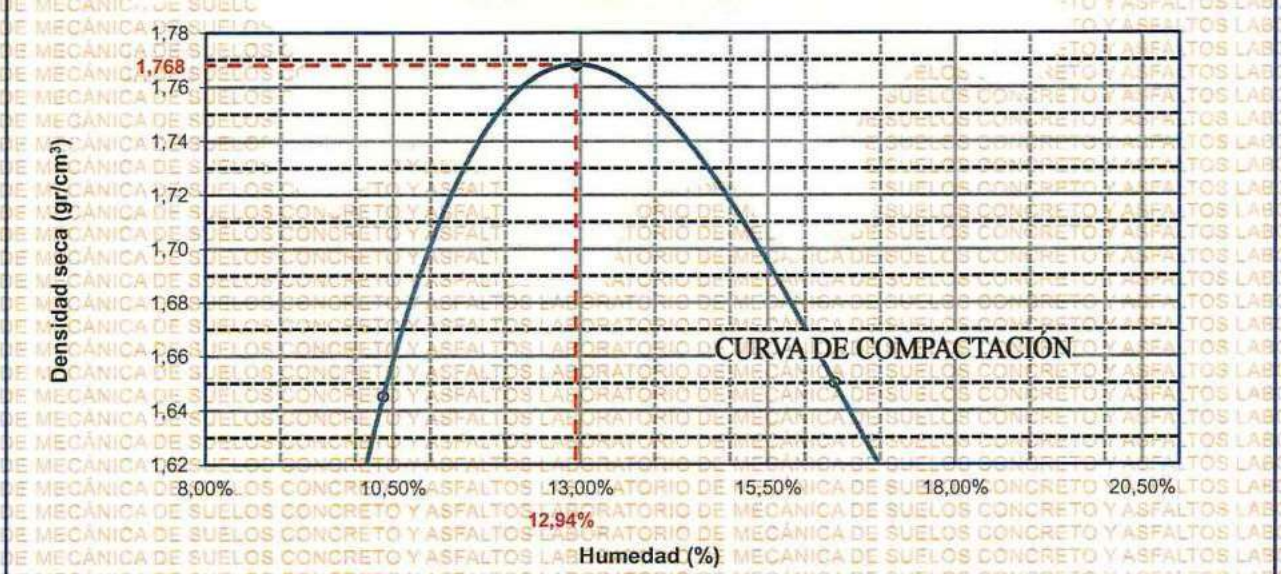
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	933 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5928	5948	5850	5754
Peso del Molde	gr.	4156	4156	4156	4156
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1772	1792	1694	1598
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1,899	1,921	1,816	1,713

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	293,63	274,70	223,82	206,59	172,24	175,31	202,15	191,45
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	254,19	239,37	197,35	182,65	159,73	161,99	190,98	175,04
Peso del Agua	gr.	39,44	35,33	26,47	23,94	12,51	13,32	11,17	16,41
Peso de la Capsula	gr.	71,38	70,41	36,28	36,22	36,36	36,31	39,05	38,67
Peso del Suelo Seco	gr.	182,81	168,96	161,07	146,43	123,37	125,68	151,93	136,37
% de Humedad	%	21,57%	20,91%	16,43%	16,35%	10,14%	10,60%	7,35%	12,03%
Promedio de Humedad	%	21,24%		16,39%		10,37%		9,69%	
Densidad del Suelo Seco	%	1,566		1,650		1,645		1,561	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1,768 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	12,94%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



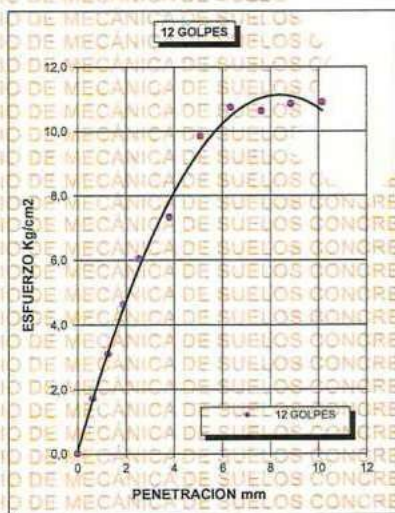
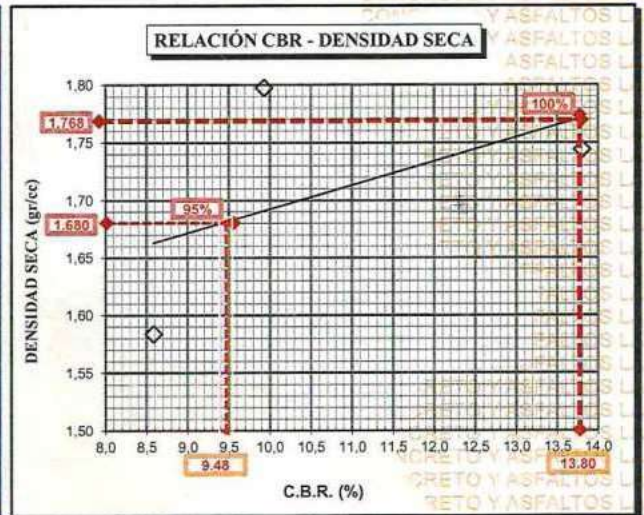
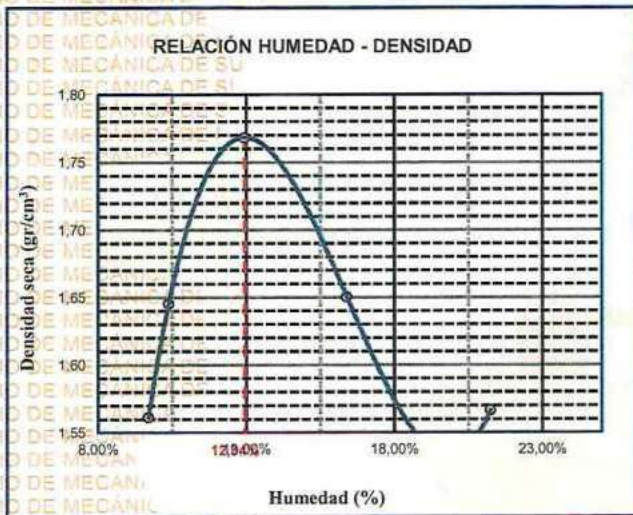
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL
M.S.C.A. JEFATURA
Mtro. Gerardo Yana Torres



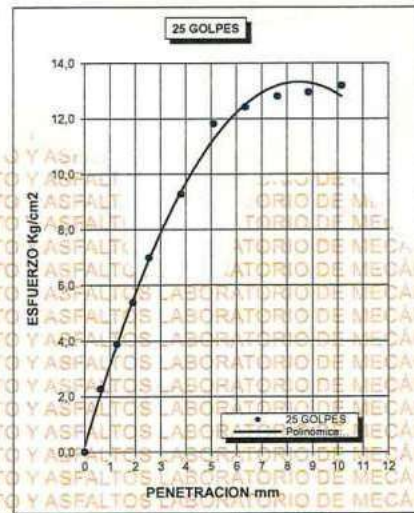
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



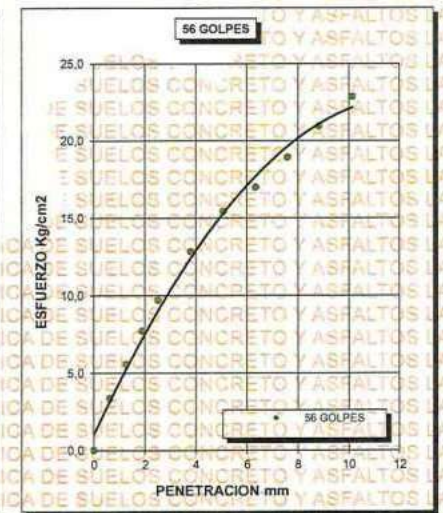
PROYECTO :	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.)	1,768
SOLICITADO :	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO	CLASIFICACIÓN :	HUMEDAD OPTIMA (%)	12,94%
UBICACIÓN :	CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA	AASHTO :	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	13,80
MUESTRA :	C-1 MUESTRA 1 + 12% CENIZA DE CARBÓN	EMBEBIDO :	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	9,48
FECHA :	6 DE SETIEMBRE DEL 2024			



CBR 8,59



CBR 9,93



CBR 13,80


 Ing. Arnaldo Yana Torres
 C.I.F. 10325710



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024
SOLICITANTE	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO
UBICACIÓN	CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA
MUESTRA	C-2 MUESTRA 2 + 12% CENIZA DE CARBÓN
FECHA	6 DE SETIEMBRE DEL 2024

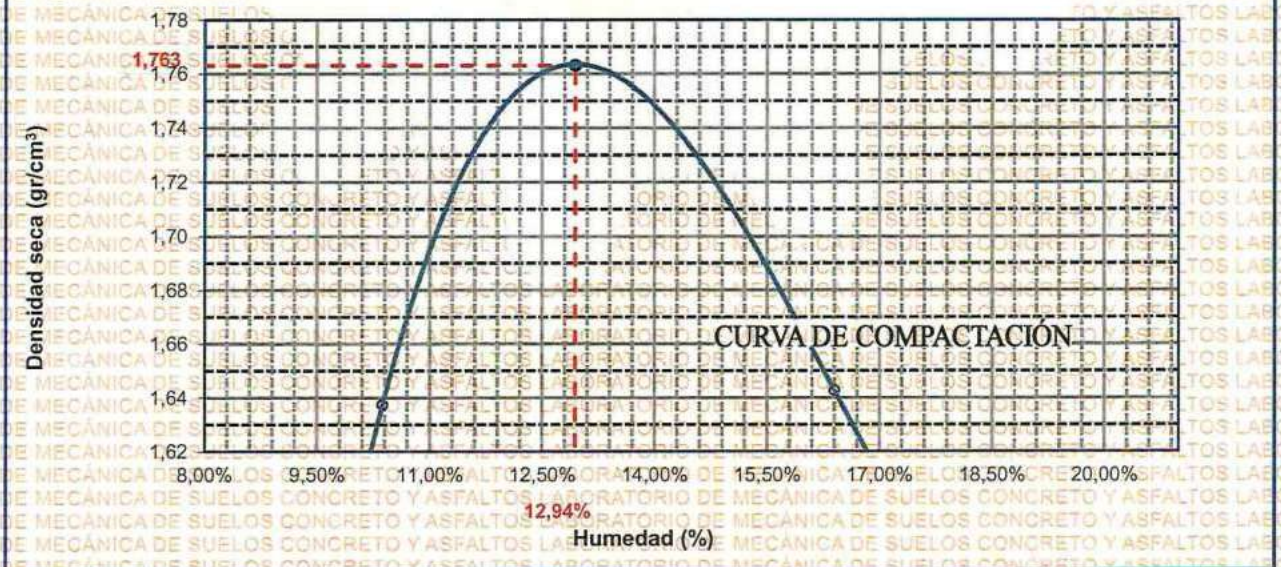
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 933 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5920	5940	5842	5746
Peso del Molde	gr.	4156	4156	4156	4156
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1764	1784	1686	1590
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1,891	1,912	1,807	1,704

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	295,65	276,73	225,85	208,63	174,29	177,33	204,18	193,47
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	256,26	241,40	199,38	184,66	161,76	164,03	192,98	177,06
Peso del Agua	gr.	39,39	35,33	26,47	23,97	12,53	13,30	11,20	16,41
Peso de la Capsula	gr.	73,40	72,45	38,31	38,23	38,39	38,33	41,08	40,70
Peso del Suelo Seco	gr.	182,86	168,95	161,07	146,43	123,37	125,70	151,90	136,36
% de Humedad	%	21,54%	20,91%	16,43%	16,37%	10,16%	10,58%	7,37%	12,03%
Promedio de Humedad	%	21,23%		16,40%		10,37%		9,70%	
Densidad del Suelo Seco	%	1,560		1,643		1,637		1,553	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1,763 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 12,94%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



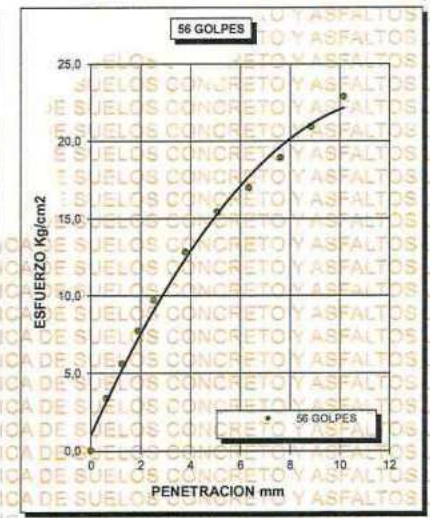
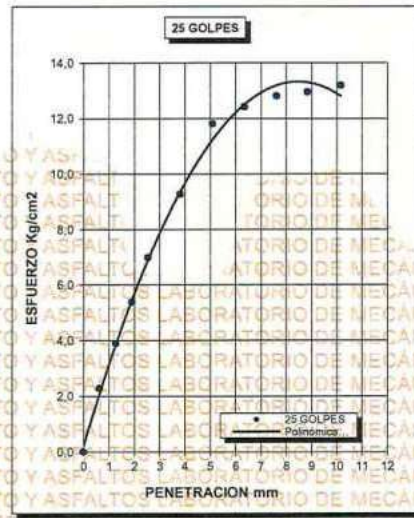
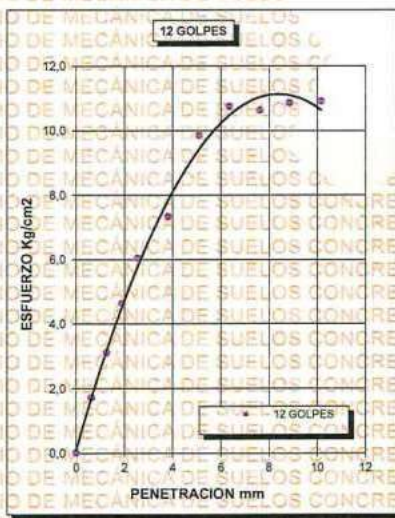
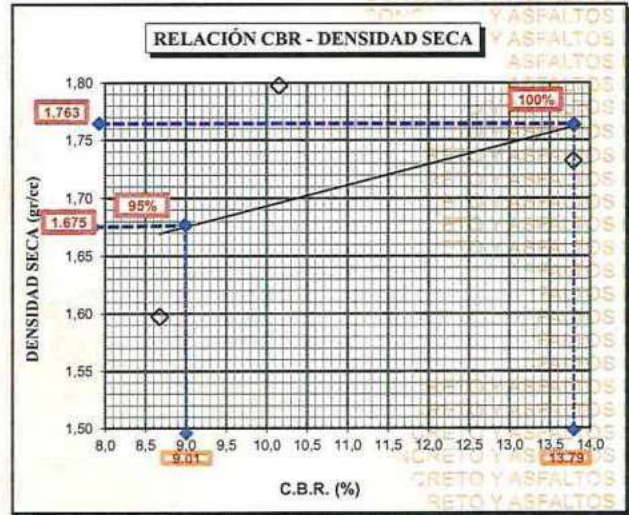
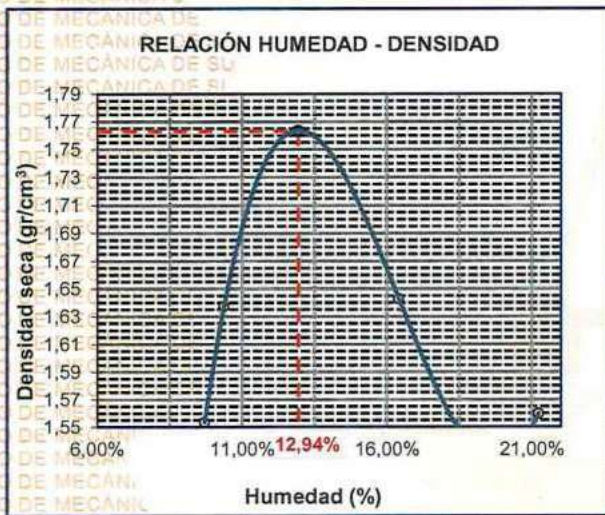
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FICP - CAR. INGENIERÍA CIVIL
 M.S.C.A. JEFATURA
 Ing. Arnaldo Yana Torres



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 :	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1,763
SOLICITADO :	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO	HUMEDAD OPTIMA (%)	12,94%
UBICACIÓN :	CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	13,79
MUESTRA :	C-2 MUESTRA 2 + 12% CENIZA DE CARBÓN	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	9,01
FECHA :	6 DE SETIEMBRE DEL 2024	CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



CBR = 8,68

CBR = 10,15

CBR = 13,79

Mg. Arnaldo Yano Torres
 CIP 104257
 LABORATORIO M.S.C.A. UANCV
 FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACION DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA 2024
SOLICITANTE	BACHILLER ALEX ANTONY CÚTIPA MACHICADO
UBICACIÓN	CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA
MUESTRA	C-3 MUESTRA 3 + 12% CENIZA DE CARBÓN
FECHA	6 DE SETIEMBRE DEL 2024

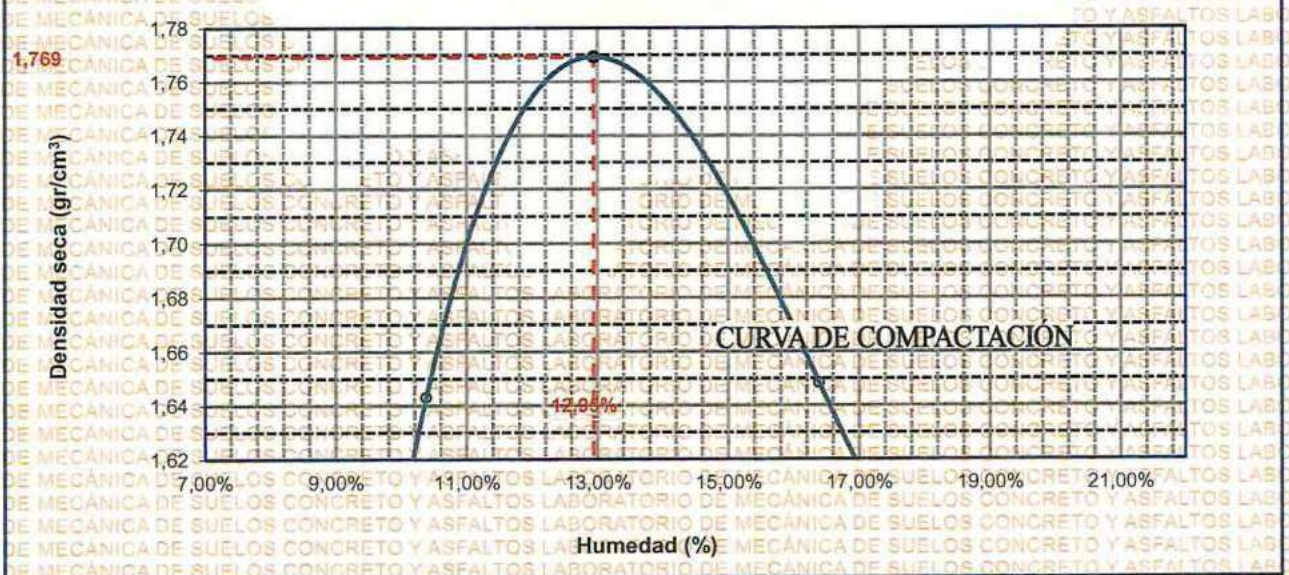
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	933 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	5926	5946	5848	5752
Peso del Molde	gr.	4156	4156	4156	4156
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1770	1790	1692	1596
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1,897	1,919	1,814	1,711

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	295,76	276,84	225,96	208,74	174,46	177,44	204,32	193,60
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	256,37	241,53	199,52	184,77	161,89	164,16	193,11	177,17
Peso del Agua	gr.	39,39	35,31	26,44	23,97	12,57	13,28	11,21	16,43
Peso de la Capsula	gr.	73,51	72,58	38,42	38,34	38,53	38,46	41,22	40,81
Peso del Suelo Seco	gr.	182,86	168,95	161,10	146,43	123,36	125,70	151,89	136,36
% de Humedad	%	21,54%	20,90%	16,41%	16,37%	10,19%	10,56%	7,38%	12,05%
Promedio de Humedad	%	21,22%		16,39%		10,38%		9,71%	
Densidad del Suelo Seco	%	1,565		1,648		1,643		1,559	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1,769 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	12,95%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



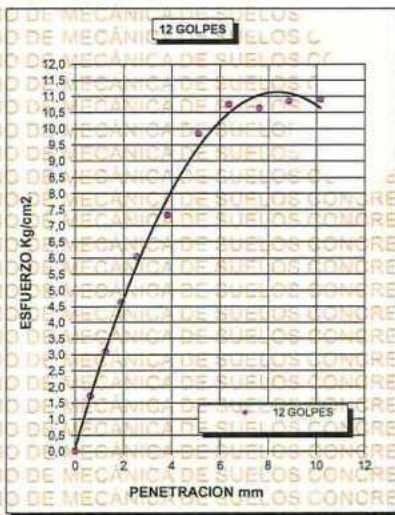
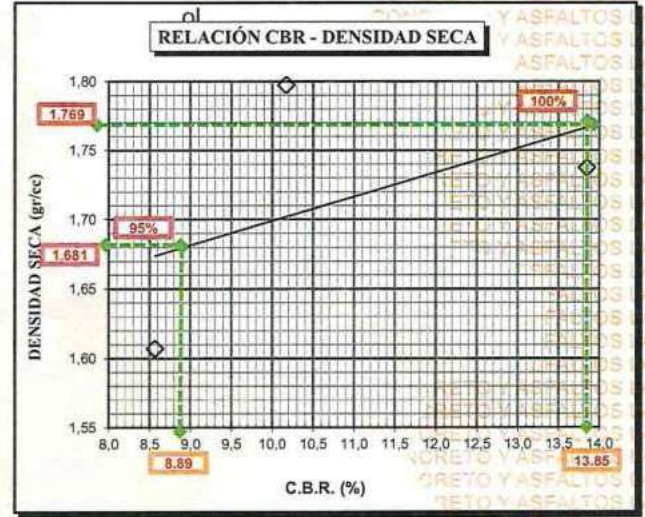
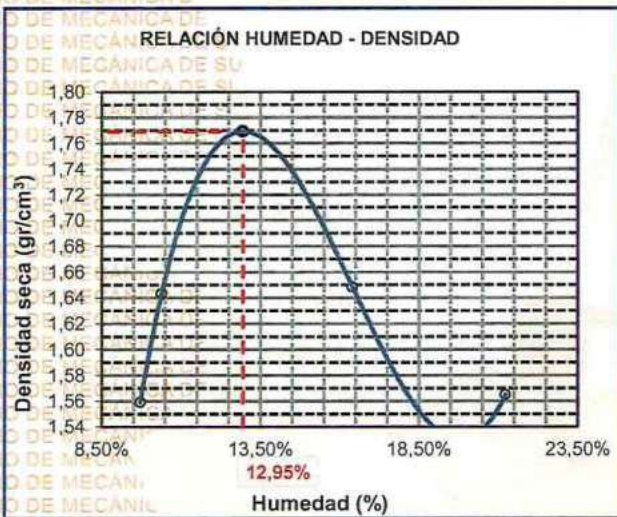
LABORATORIO M.S.C.A.
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CIVIL INGENIERÍA CIVIL
Met. Arzaldo Yana Torres



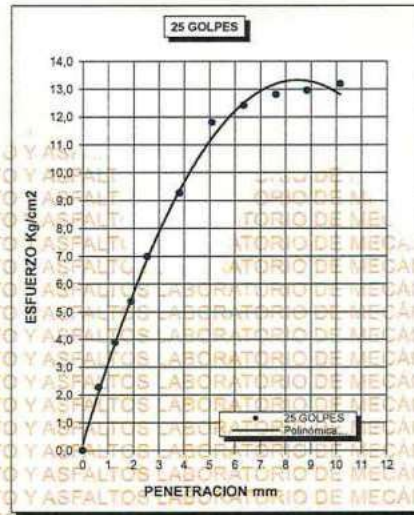
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



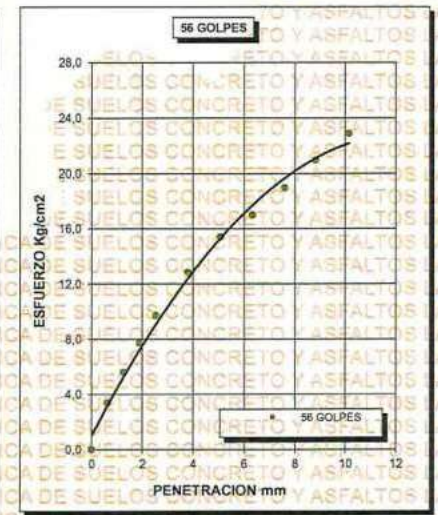
PROYECTO :	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³): 1,769
UBICACIÓN :	CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA	HUMEDAD OPTIMA (%): 12,95%
MUESTRA :	C-3 MUESTRA 3 + 12% CENIZA DE CARBÓN	CBR AL 100 DE M.D.S. (%): 13,85
FECHA :	6 DE SETIEMBRE DEL 2024	CBR AL 95% DE M.D.S. (%): 8,89
		CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



CBR 8,57



CBR 10,17



CBR 13,85

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
M.S.C. IA
ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACION DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCION DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024
SOLICITANTE	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO
UBICACIÓN	CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA
MUESTRA	C-1 MUESTRA T+ 18% CENIZA DE CARBÓN
FECHA	9 DE SETIEMBRE DEL 2024

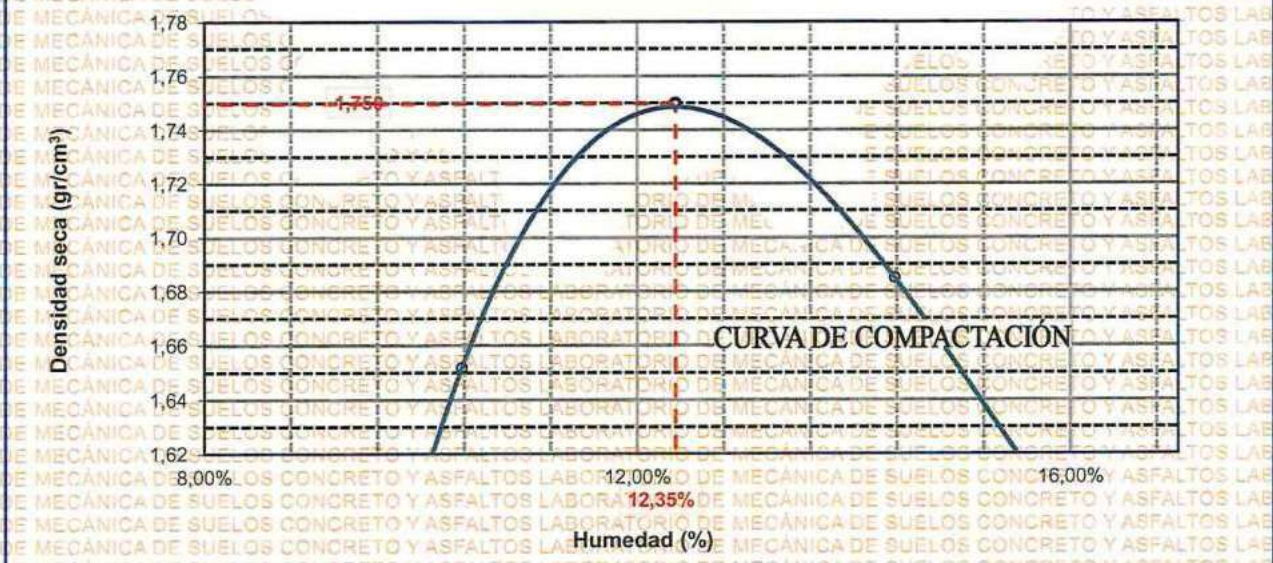
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	933 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5934	5954	5857	5759
Peso del Molde	gr.	4156	4156	4156	4156
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1778	1798	1701	1603
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1,906	1,927	1,823	1,718

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	295,89	278,97	226,09	210,87	177,59	180,57	207,45	196,74
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	261,50	243,66	204,65	187,90	165,02	167,29	196,24	180,30
Peso del Agua	gr.	34,39	35,31	21,44	22,97	12,57	13,28	11,21	16,44
Peso de la Capsula	gr.	76,64	75,71	40,56	41,47	41,66	41,57	44,35	43,94
Peso del Suelo Seco	gr.	184,86	167,95	164,09	146,43	123,36	125,72	151,89	136,36
% de Humedad	%	18,60%	21,02%	13,07%	15,69%	10,19%	10,56%	7,38%	12,06%
Promedio de Humedad	%	19,81%		14,38%		10,38%		9,72%	
Densidad del Suelo Seco	%	1,591		1,685		1,652		1,566	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1,750 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	12,35%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



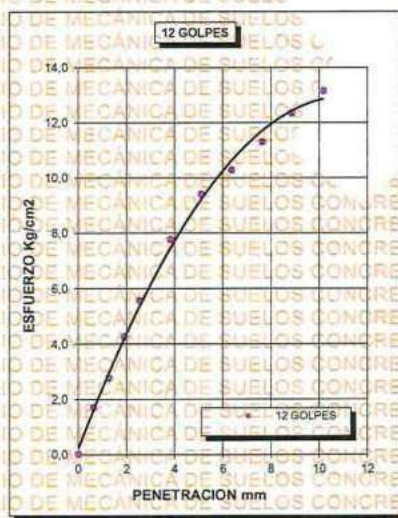
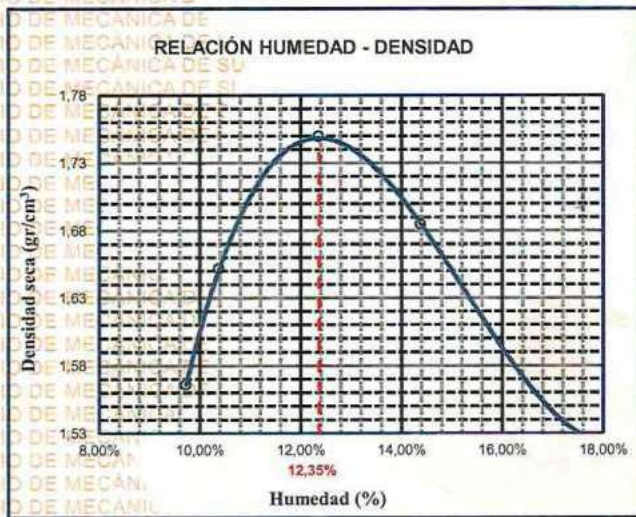
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP / INGENIERÍA CIVIL
Ing. Ana María Torres
19/09/2024



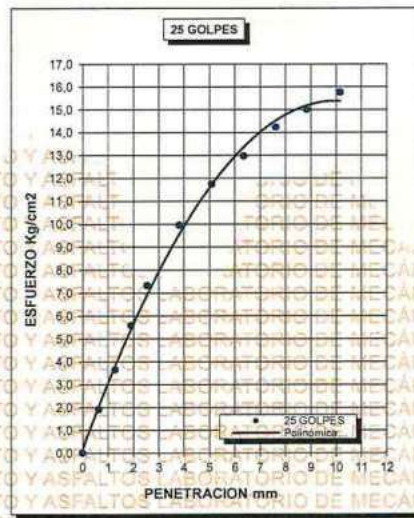
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



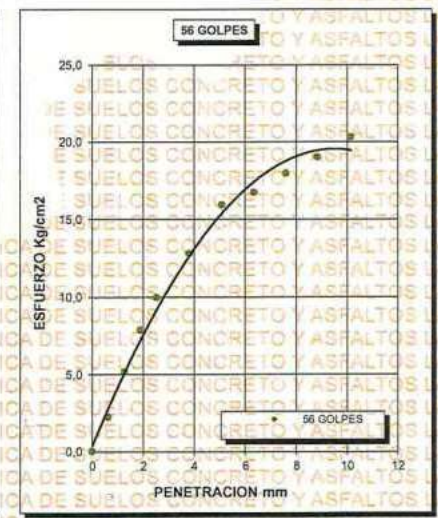
PROYECTO :	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1,750
SOLICITADO :	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO	CLASIFICACIÓN :	CL
UBICACIÓN :	CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA	AASHTO :	A-2
MUESTRA :	C-1 MUESTRA 1 + 18% CENIZA DE CARBÓN	EMBEBIDO :	4 DIAS
FECHA :	9 DE SETIEMBRE DEL 2024	HUMEDAD OPTIMA (%)	12,35%
		CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	14,18
		CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	10,41



CBR 7,93



CBR 10,43



CBR 14,18

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA
Mgtr. Arnaldo Yana Torres
C.P. 103257



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA 2024
SOLICITANTE	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO
UBICACIÓN	CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA
MUESTRA	C-2 MUESTRA 2 + 18% CENIZA DE CARBÓN
FECHA	9 DE SETIEMBRE DEL 2024

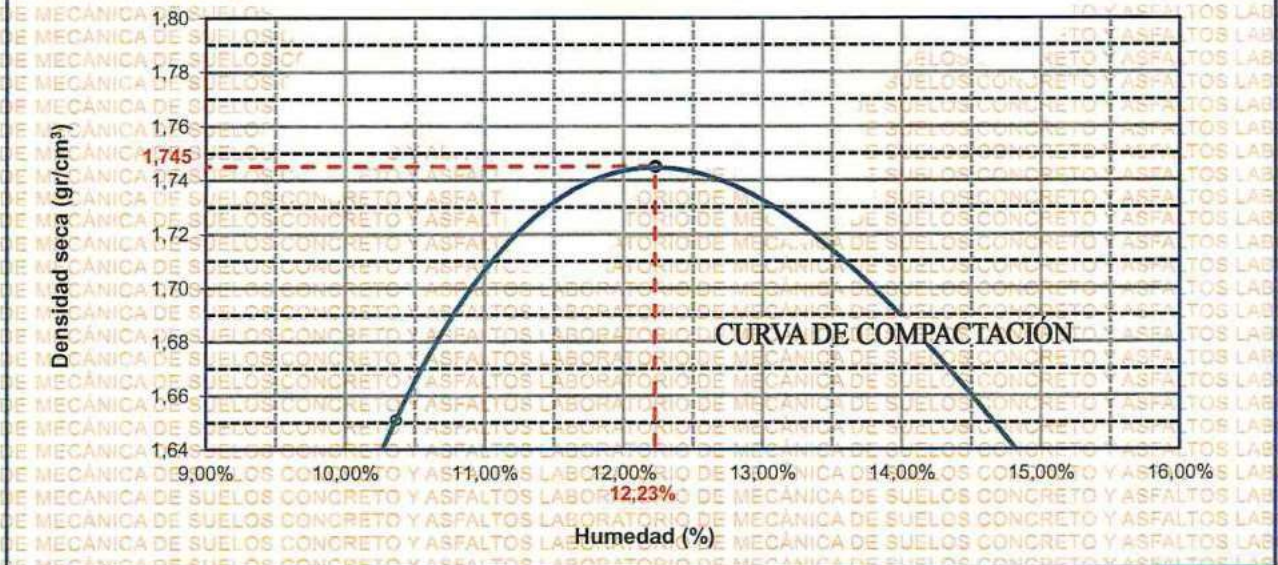
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	933 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5934	5951	5856	5759
Peso del Molde	gr.	4156	4156	4156	4156
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1778	1795	1700	1603
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1,906	1,924	1,822	1,718

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	297,99	279,01	226,19	209,97	177,64	180,67	207,55	196,81
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	260,58	245,90	203,75	188,98	165,10	167,39	196,32	180,37
Peso del Agua	gr.	37,41	33,11	22,44	20,99	12,54	13,28	11,23	16,44
Peso de la Capsula	gr.	76,74	75,80	41,66	41,55	41,74	41,65	44,48	44,01
Peso del Suelo Seco	gr.	183,84	170,10	162,09	147,43	123,36	125,74	151,86	136,36
% de Humedad	%	20,35%	19,47%	13,84%	14,24%	10,17%	10,56%	7,39%	12,06%
Promedio de Humedad	%	19,91%		14,04%		10,36%		9,73%	
Densidad del Suelo Seco	%	1,589		1,687		1,651		1,566	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1,745 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 12,23%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



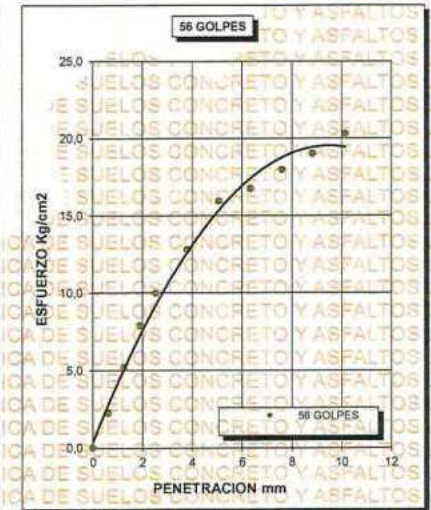
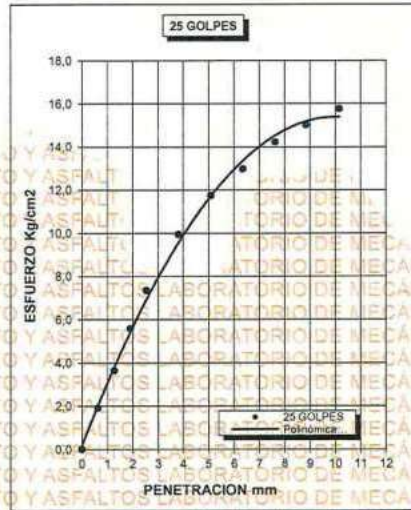
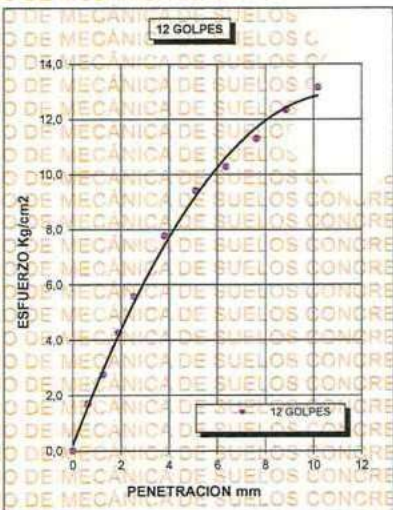
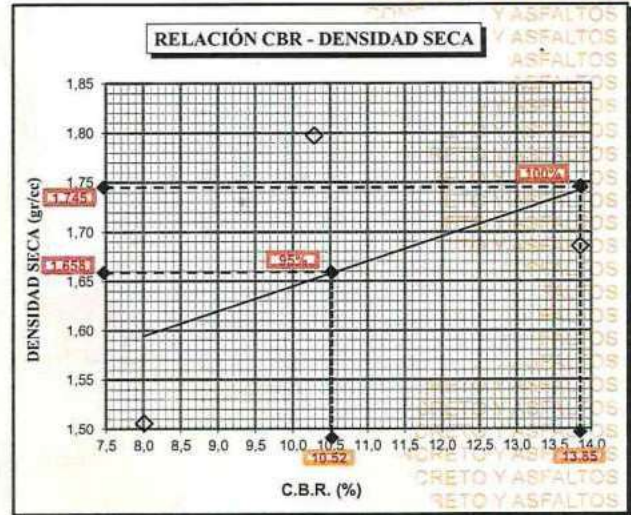
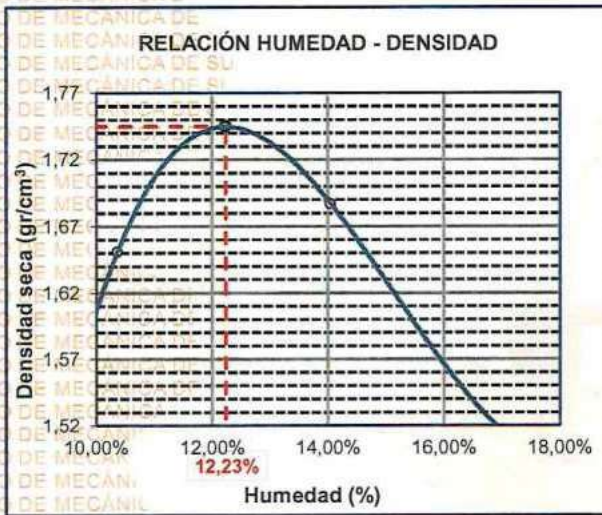
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FICP - CAD INGENIERÍA CIVIL
 M.S.C.A.
 Ing. Arnaldo Yana Torres
 ZIP: 103257



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 : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO : BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1,745
UBICACIÓN : CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA	HUMEDAD OPTIMA (%) 12,2%
MUESTRA : C-2 MUESTRA 2 + 18% CENIZA DE CARBÓN	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 13,85
FECHA : 9 DE SETIEMBRE DEL 2024	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 10,52
	CLASIFICACIÓN : CL
	AASHTO : A-2
	EMBEBIDO : 4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAI, INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO M.S.C.A.
JEFATURA
Mgtr. Arnaldo Yana Torres
P. 103287



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

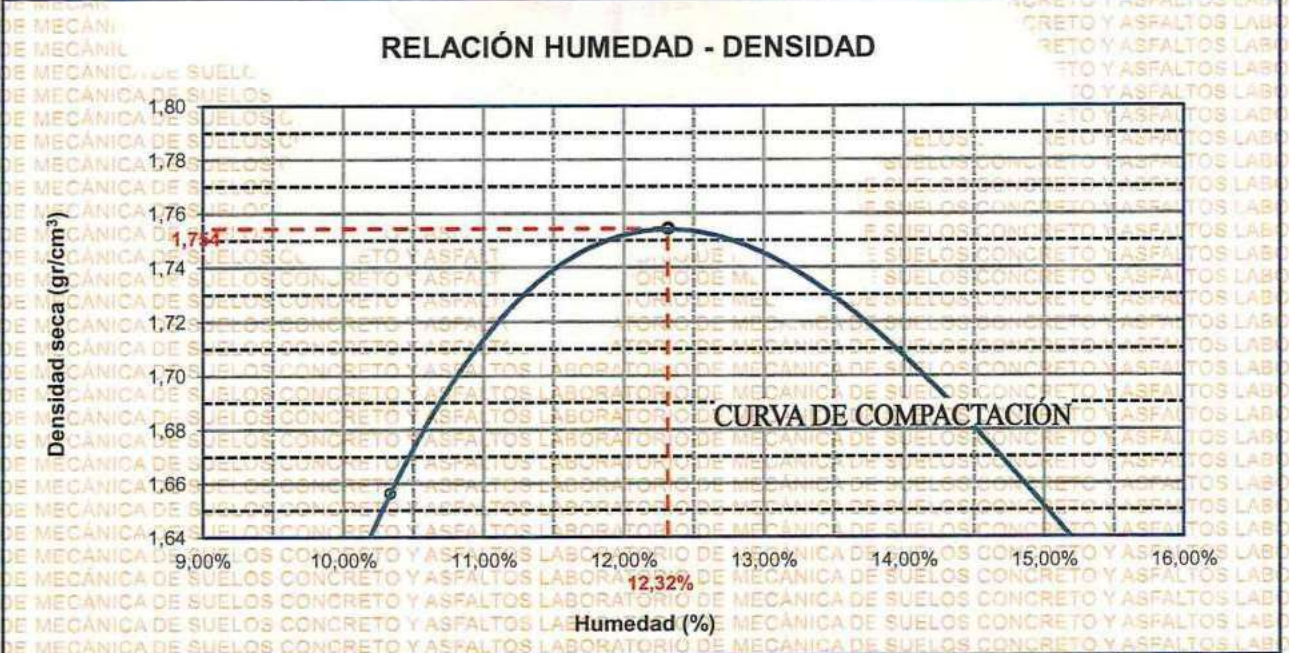
TESIS	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACION DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024
SOLICITANTE	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO
UBICACIÓN	CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA
MUESTRA	C-3 MUESTRA 3 + 18% CENIZA DE CARBÓN
FECHA	9 DE SETIEMBRE DEL 2024

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	933 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	5938	5956	5861	5763
Peso del Molde	gr.	4156	4156	4156	4156
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1782	1800	1705	1607
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1,910	1,929	1,827	1,722

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	297,07	276,09	226,26	208,03	176,65	179,74	206,62	195,88
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	258,66	243,77	202,82	187,04	164,18	166,46	195,39	179,45
Peso del Agua	gr.	38,41	32,32	23,44	20,99	12,47	13,28	11,23	16,43
Peso de la Capsula	gr.	75,82	74,88	40,73	40,62	40,81	40,72	43,53	42,08
Peso del Suelo Seco	gr.	182,84	168,89	162,09	146,42	123,37	125,74	151,86	137,37
% de Humedad	%	21,01%	19,14%	14,46%	14,34%	10,11%	10,56%	7,39%	11,96%
Promedio de Humedad	%	20,07%		14,40%		10,33%		9,68%	
Densidad del Suelo Seco	%	1,591		1,686		1,656		1,570	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1,754 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	12,32%



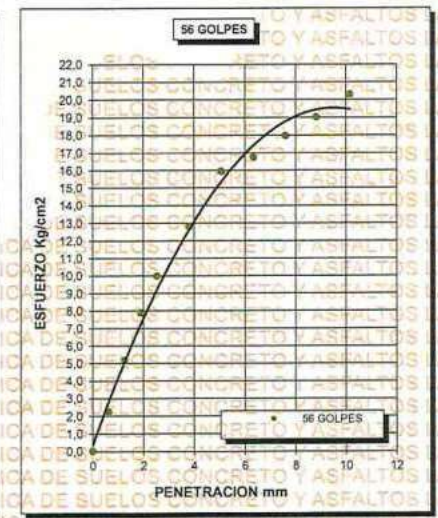
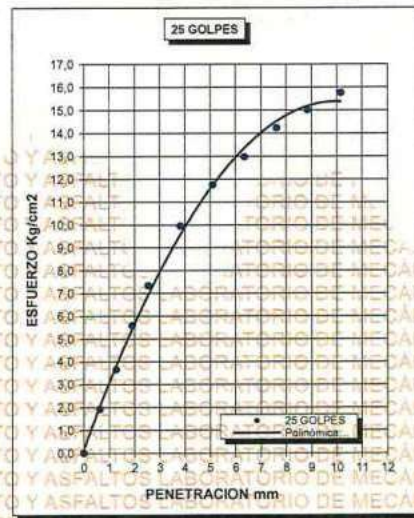
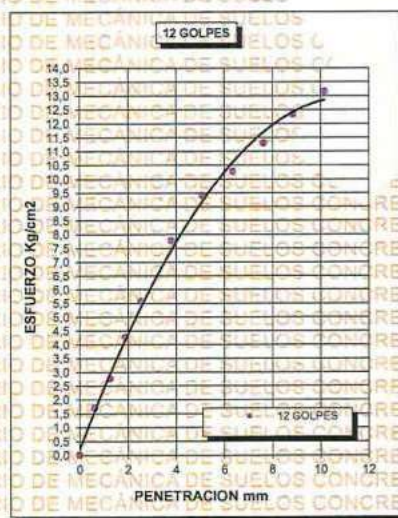
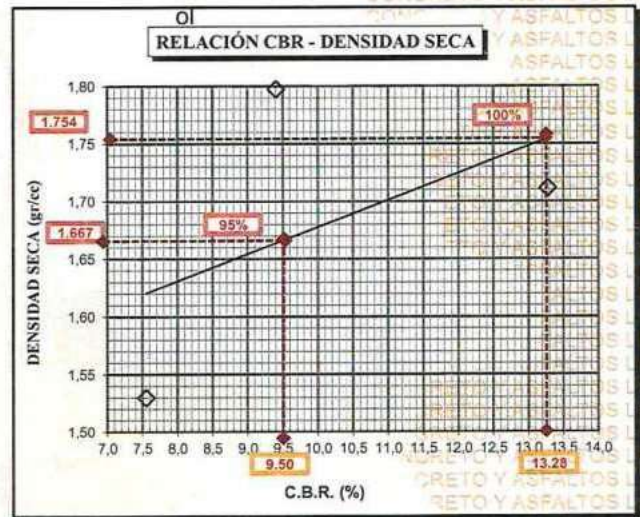
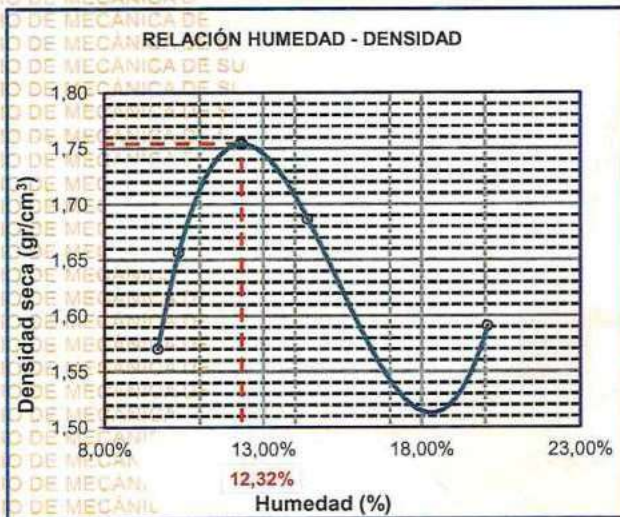
Mgr. Arnaldo Yaya Torres
 CIP 102257



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 :	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1,754
SOLICITADO :	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO	CLASIFICACIÓN :	CL
UBICACIÓN :	CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA	AASHTO :	A-2
MUESTRA :	C-3 MUESTRA 3 + 18% CENIZA DE CARBÓN	EMBEBIDO :	4 DIAS
FECHA :	9 DE SETIEMBRE DEL 2024	HUMEDAD OPTIMA (%)	12,32%
		CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	13,28
		CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	9,50



CBR 7,56

CBR 9,40

CBR 13,28

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
M.S.C.A. JEFATURA
Mgtr. Arnaldo Yana Torres
CIP 103257



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA 2024
SOLICITANTE	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO
UBICACIÓN	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
MUESTRA	CALICATA 1 - MUESTRA 1
FECHA	29 DE AGOSTO DEL 2024

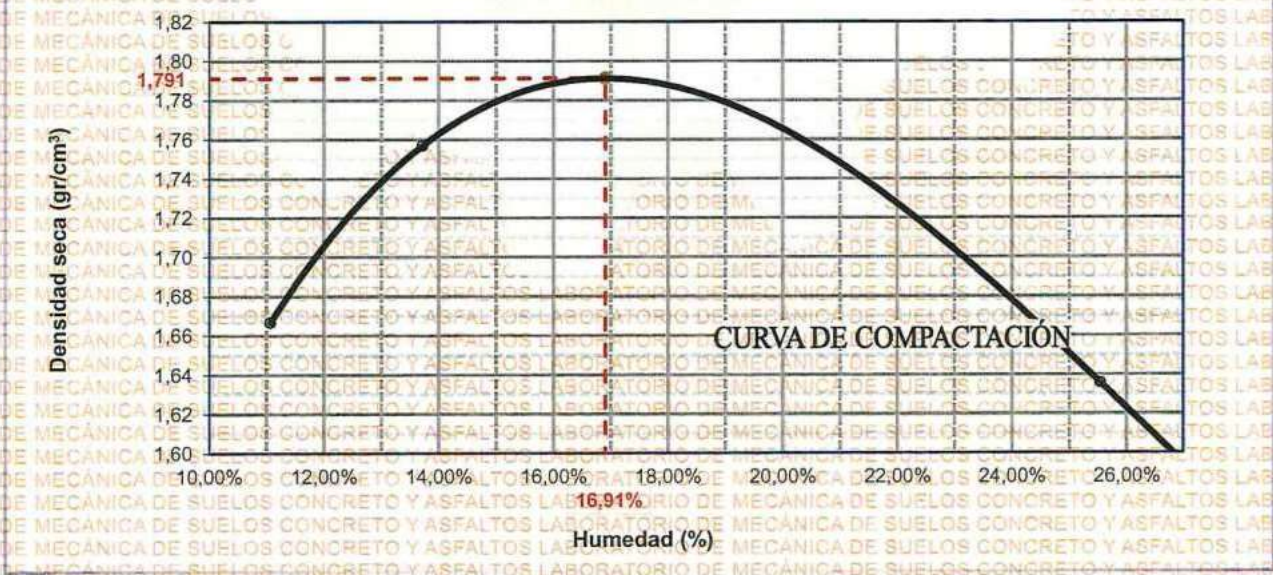
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	933 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	6041	6072	6020	5883
Peso del Molde	gr.	4156	4156	4156	4156
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1885	1916	1864	1727
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	2,020	2,054	1,998	1,851

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	68,64	74,33	83,75	91,33	78,65	92,86	91,42	90,46
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	58,66	63,58	70,58	78,46	73,35	81,85	85,21	83,23
Peso del Agua	gr.	9,98	10,75	13,17	12,87	5,30	11,01	6,21	7,23
Peso de la Capsula	gr.	20,75	25,45	21,33	25,57	19,54	19,24	23,94	22,96
Peso del Suelo Seco	gr.	37,91	38,13	49,25	52,89	53,81	62,61	61,27	60,27
% de Humedad	%	26,33%	28,19%	26,74%	24,33%	9,85%	17,59%	10,14%	12,00%
Promedio de Humedad	%	27,26%		25,54%		13,72%		11,07%	
Densidad del Suelo Seco	%	1,588		1,636		1,757		1,667	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1,791 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	16,91%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



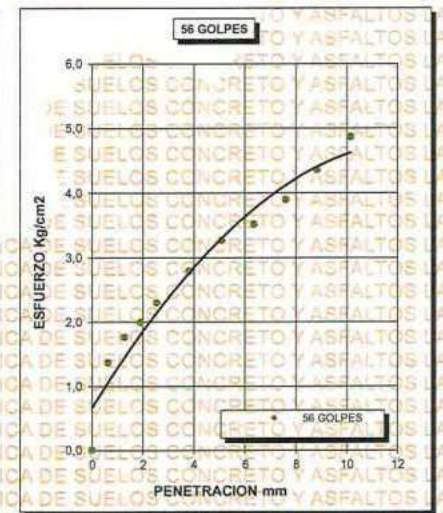
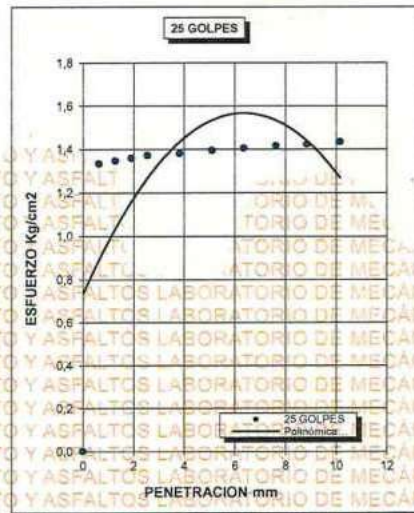
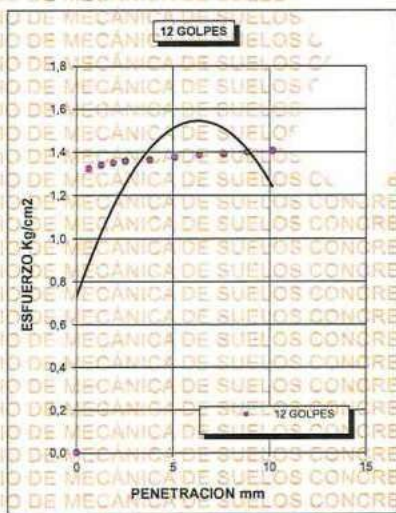
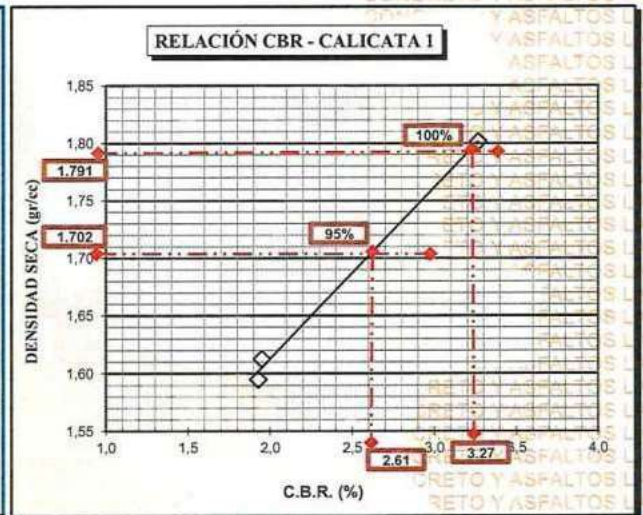
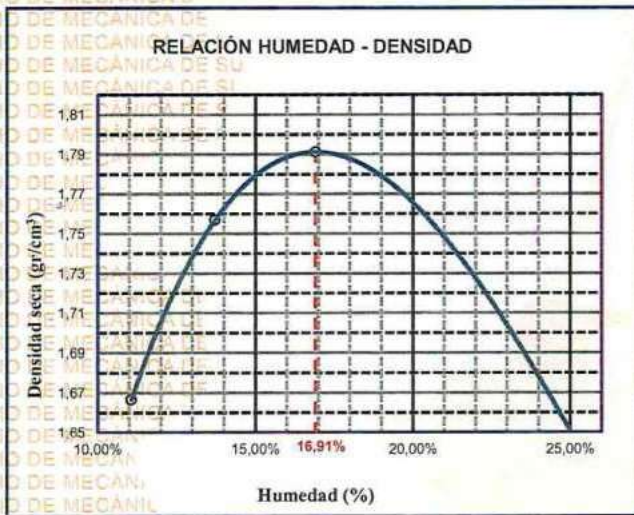
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
 Mgtr. Arnaldo Yana Torres



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



PROYECTO :	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE BOAFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3.)	1,791	
SOLICITADO :	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO	UBICACIÓN :	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS	HUMEDAD OPTIMA (%)	16,91%
MUESTRA :	SUELO NATURAL - CALICATA - M1	CLASIFICACIÓN :	CL	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	3,27
FECHA :	29 DE AGOSTO DEL 2024	AASHTO :	A-2	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	2,61
		EMBEBIDO :	4 DIAS		



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO M.S.C.A. INVESTIGACIÓN
JULIACA - PERÚ
Mgtr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACION DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI – MUNAYPA 2024
SOLICITANTE	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO
UBICACIÓN	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
MUESTRA	CALICATA 2 - MUESTRA 2
FECHA	29 DE AGOSTO DEL 2024

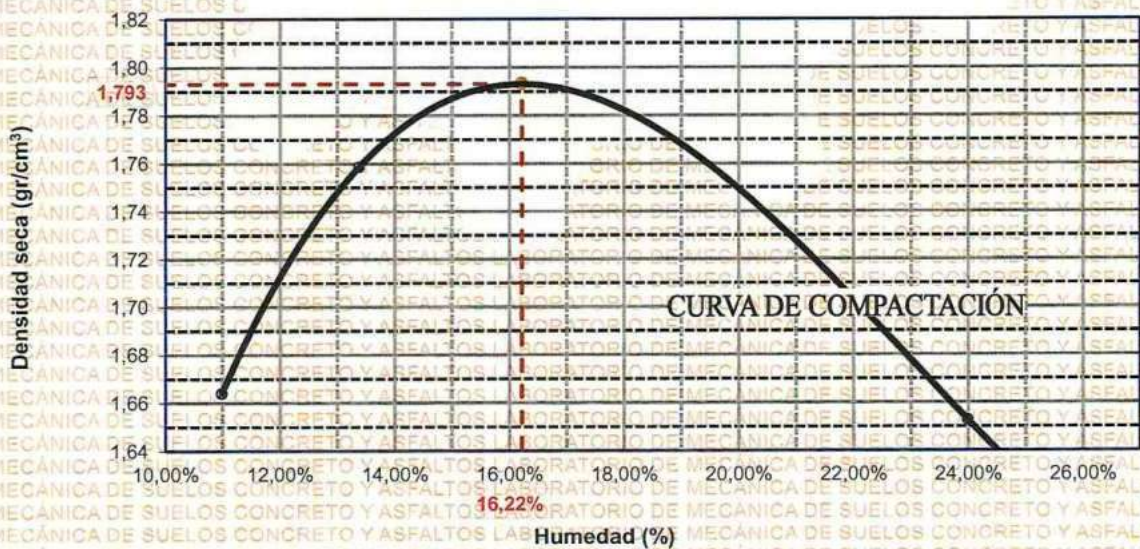
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	933 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	6037	6068	6016	5879
Peso del Molde	gr.	4156	4156	4156	4156
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1881	1912	1860	1723
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2,016	2,049	1,994	1,847

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	69,85	74,56	83,99	91,50	80,01	92,33	91,62	90,63
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	58,82	63,73	70,93	79,62	73,69	83,44	85,45	83,44
Peso del Agua	gr.	11,03	10,83	13,06	11,88	6,32	8,89	6,17	7,19
Peso de la Capsula	gr.	20,94	25,71	20,51	25,81	23,71	20,38	24,09	23,06
Peso del Suelo Seco	gr.	37,88	38,02	50,42	53,81	49,98	63,06	61,36	60,38
% de Humedad	%	29,12%	28,49%	25,90%	22,08%	12,65%	14,10%	10,06%	11,91%
Promedio de Humedad	%	28,80%		23,99%		13,37%		10,98%	
Densidad del Suelo Seco	%	1,565		1,653		1,758		1,664	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1,793 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	16,22%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



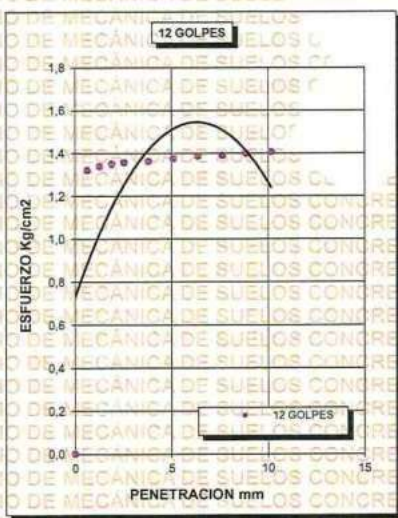
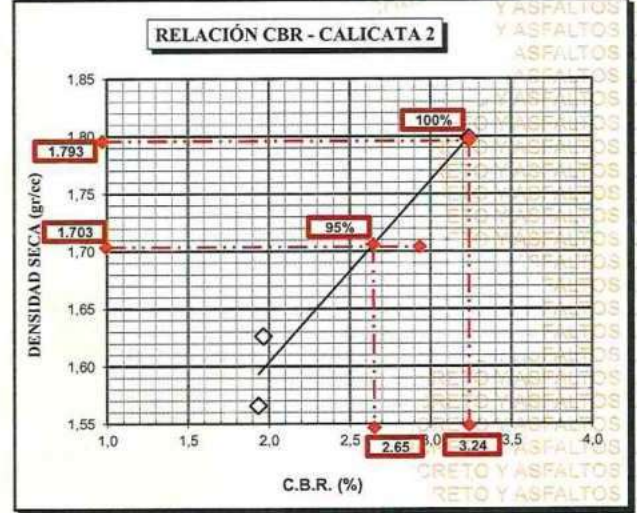
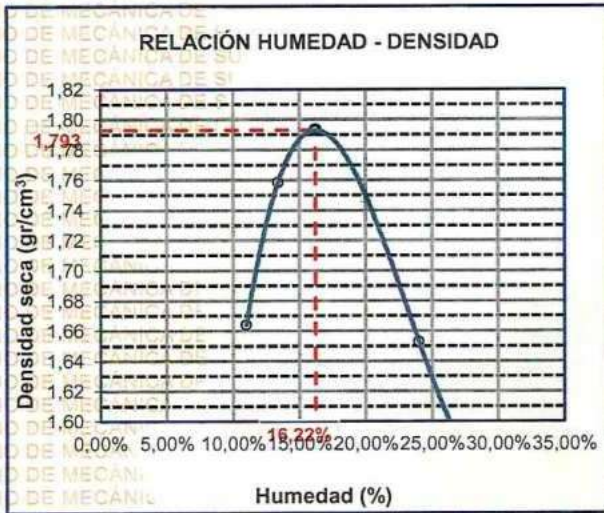
LABORATORIO M.S.C.A. ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Mgtr. Arnaldo Yana Torres



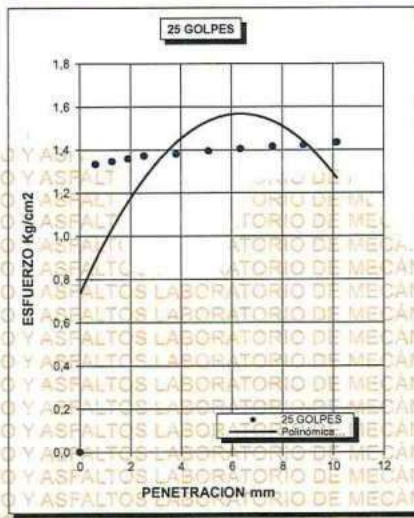
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



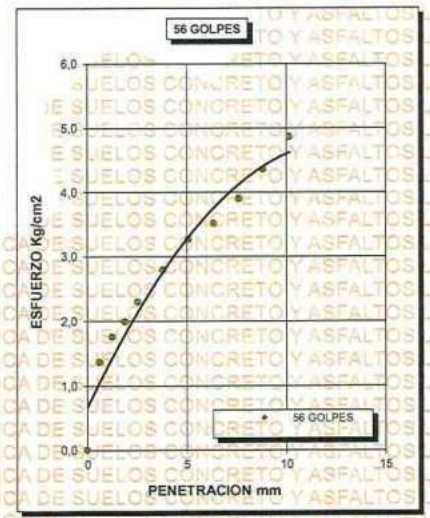
MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMANDO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024		METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
PROYECTO :		MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1,793
SOLICITADO :	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO	HUMEDAD OPTIMA (%)	16,22%
UBICACIÓN :	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	3,24
MUESTRA :	SUELO NATURAL - CALICATA - M2	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	2,65
FECHA :	29 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



CBR 1,94



CBR 1,97



CBR 3,24

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO M.S.C.A.
ALPAPURA
JULIACA - PERÚ
Msc. Arnaldo Yana Torres
CIP 12027



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024
SOLICITANTE	: BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO
UBICACIÓN	: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
MUESTRA	: CALICATA 3 - MUESTRA 3
FECHA	: 29 DE AGOSTO DEL 2024

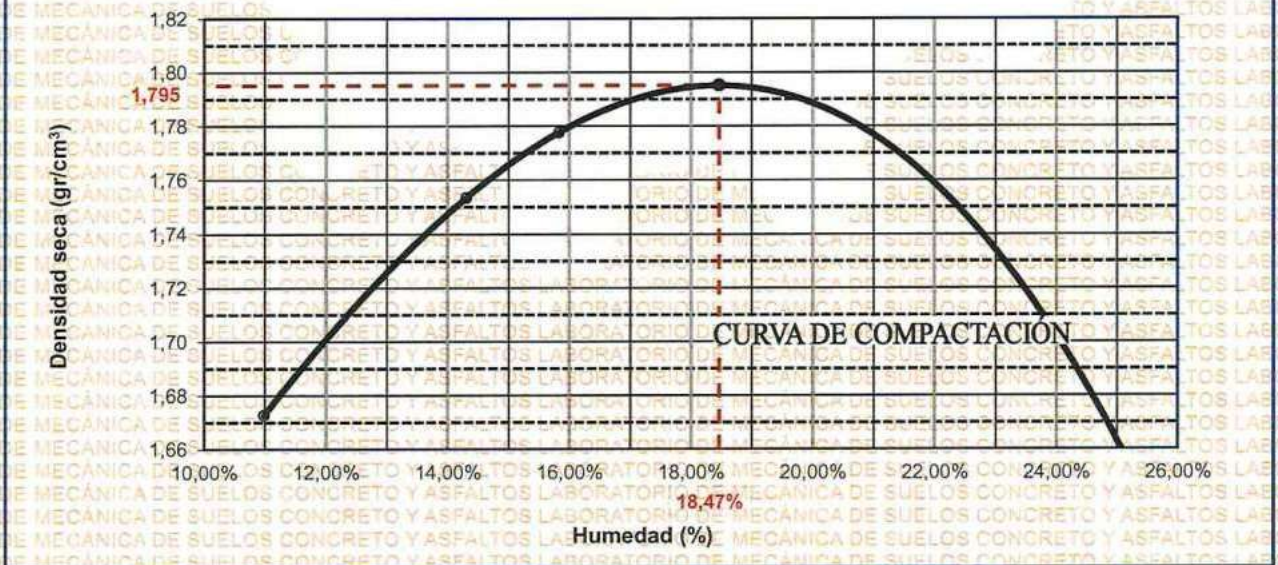
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 933 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	6046	6077	6026	5888
Peso del Molde	gr.	4156	4156	4156	4156
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1890	1921	1870	1732
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2,026	2,059	2,004	1,856

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	69,88	74,59	83,13	90,53	81,12	94,36	92,64	91,65
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	59,85	64,76	73,95	82,64	74,44	84,47	86,47	84,48
Peso del Agua	gr.	10,03	9,83	9,18	7,89	6,68	9,89	6,17	7,19
Peso de la Capsula	gr.	21,97	26,85	21,54	26,83	23,72	20,41	25,11	24,08
Peso del Suelo Seco	gr.	37,88	37,91	52,41	55,81	50,72	64,06	61,36	60,38
% de Humedad	%	26,48%	25,93%	17,52%	14,14%	13,17%	15,44%	10,06%	11,91%
Promedio de Humedad	%	26,20%		15,83%		14,30%		10,98%	
Densidad del Suelo Seco	%	1,605		1,778		1,753		1,673	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1,795 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 18,47%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



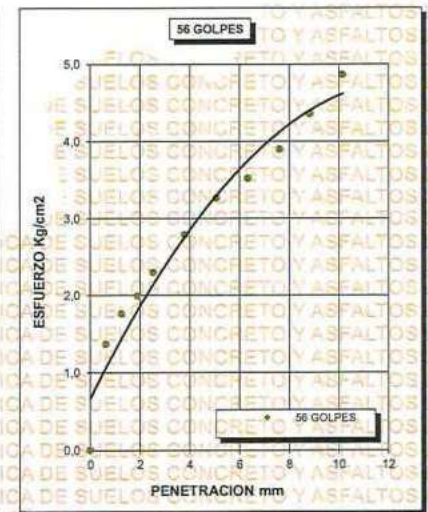
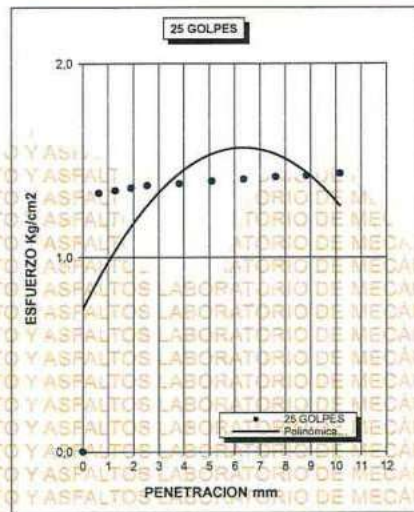
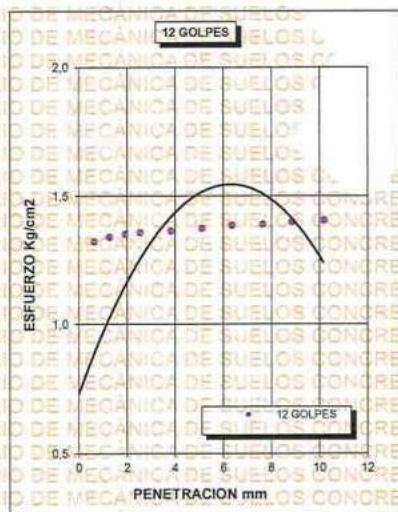
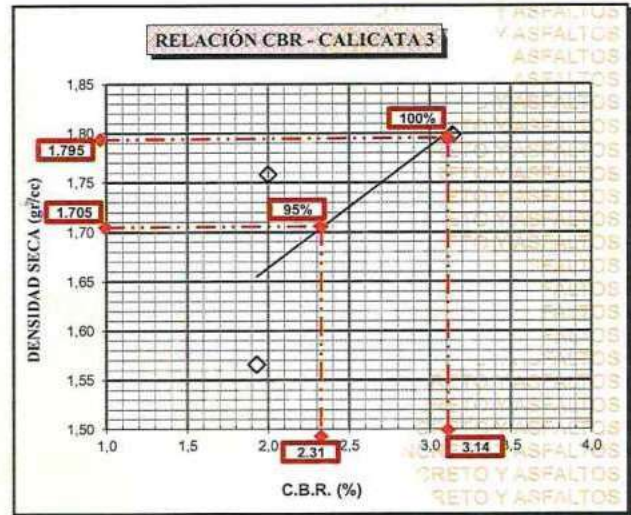
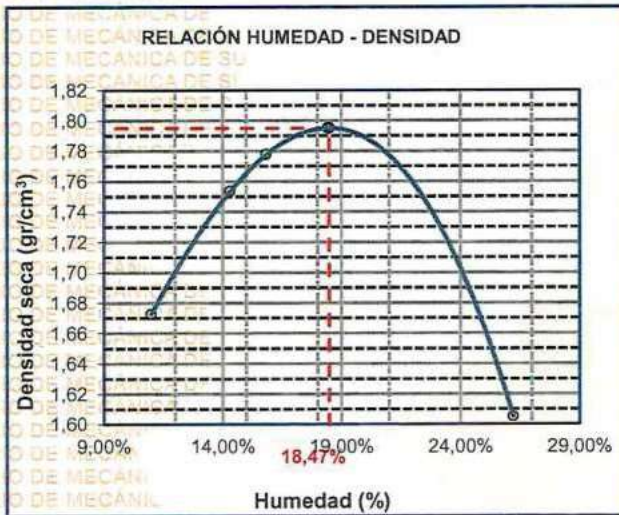
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
 M.S.C.A.
 JEFATURA
 Mgtr. Arnaldo Yana Torres



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



PROYECTO :	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	BACHILLER ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1,795
UBICACIÓN :	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS	HUMEDAD OPTIMA (%) 18,47%
MUESTRA :	SUELO NATURAL - CALICATA - M3	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 3,14
FECHA :	29 DE AGOSTO DEL 2024	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 2,31
		CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



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

Mgtr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 06-01-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: ALEX ANTONY CUTIPA MACHICADO

Dirección: Jr. 28 DE JULIO 661

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 74170989

Teléfono: 940 664 394 email: alexantony1230@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

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

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

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

Asesor: Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN PARA LA REDUCCIÓN DE ESPESOR DE AFIRMADO DE LA CARRETERA HUATASANI - MUNAYPA 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): CENIZA DE CARBÓN, SUBRASANTE, CBR, GRADO DE COMPACTACIÓN, PROPIEDADES MECÁNICAS

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

1

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

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



2. Referencia de tesis:

Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

Autorizo su publicación (marque con una X)

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

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

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

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

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

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

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

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P17

Firma de Autor



huella digital

06-01-2025

Fecha