



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



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA
SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE
CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA
AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA

**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

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA
SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE
CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA
AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:



Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

PRIMER MIEMBRO

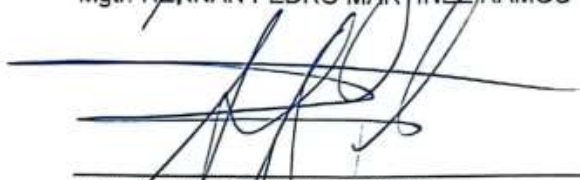
:



Mgtr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS

SEGUNDO MIEMBRO

:



Mgtr. ARNALDO YANA TORRES

ASESOR DE TESIS

:



Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 668-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 17 de julio del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU- 08421 presentado por el (la) Bachiller: **JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA** 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. **JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SURREASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA**, 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** : Mgrtr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS
- * **2do Miembro** : Mgrtr. ARNALDO YANA TORRES

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

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS de el (la) bachiller: **JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SURREASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : Jueves 25 de julio del 2024
- * **HORA** : 10:00 a.m.
- * **LUGAR** : Aula 306 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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

Dr. MILTON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790

cc.
Archivo
Interesado (s)



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

Dr. Efraín Barillo Rosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 241-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 29 de abril del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 4413 presentado por el señor (a) JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 283 - 2024-UI-FICP-UANCV/I, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) formato N° 039 - 2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) estudiante: JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA**, 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° 039 - 2024 **aprobandó** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA**, 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 o (la) Bachiller: JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

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

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



Dr. MILTON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



Dr. Efraín Castillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 098-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 22 de marzo del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-03423, presentado por el señor (a) JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 116-2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 39-2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) estudiante: JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA ha presentado su propuesta de investigación Titulado: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA, 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. Aracido 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° 39-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el o (la) Bachiller: JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

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

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

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CI. PURAS
Dr. MILTON QUISEP HUANCA
DECANO
CIP. 47790



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

cc.
Archivo 2024
Interesado (a)



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS


1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	9%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
3	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.mobilecrusherchina.com Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	John Wilber Velasquez Maita
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70610675
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0000-2038-4716
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Franz Joseph Barahona Perales
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02442876
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8509-7224
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Cesar Guillermo Camargo Najar
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02441152
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Hernan Pedro Martinez Ramos
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01316765
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Arnaldo Yana Torres
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	41414676
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Latitud: S 15° 29' 27" Longitud: O 70° 07' 37"</p>  <p>https://maps.app.goo.gl/UN1gwW6pdeMdi1DE9</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Marzo 2024 - Julio 2024
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	<p>Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</p> <p>Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</p> <p>Ingeniería estructural y municipal https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.04</p>

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS
 VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN
 DIRECTOR
 Dr. Efraín Acuña Sosa
 VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA, identificado con DNI
Nro. 70610675, 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:

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON
INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN
LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

Asesorado por: Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Es un tema original.

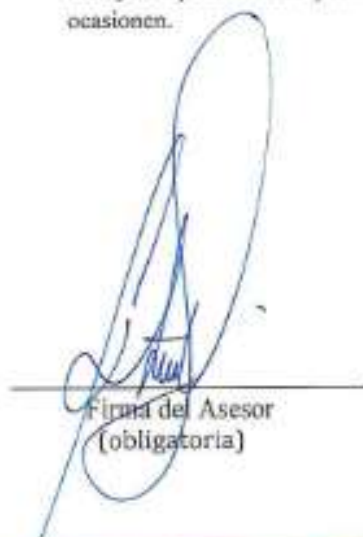
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales,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

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

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

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

Juliaca 22 de agosto del 2024



Firma del Asesor
(obligatoria)



Firma del Estudiante
(obligatoria)





DEDICATORIA

A Dios.



AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, pilares inquebrantables de amor y apoyo.



ÍNDICE GENERAL

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

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

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



1.6.1	Variable independiente	6
1.6.2	Variable dependiente	6
1.7	Operacionalización de variables.....	6

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1	Antecedentes internacionales.....	7
2.1.2	Antecedentes nacionales	8
2.1.3	Antecedentes regionales.....	11
2.2	Bases teóricas.....	12
2.2.1	Ceniza de carbón mineral.....	12
2.2.2	Arena de sílice	13
2.2.3	Características de la Subrasante	15
2.2.3.1	Definición y descripción de la subrasante en el contexto vial	16
2.2.3.2	Factores que influyen en las propiedades de la subrasante	18
2.2.4	Propiedades de la Ceniza de Carbón Mineral	19
2.2.4.1	Composición y características físico-químicas de la ceniza de carbón	20
2.2.4.2	Efectos de la incorporación de ceniza de carbón mineral en la ingeniería vial ...	21
2.2.5	Propiedades de la Arena de Sílice	23
2.2.5.1	Características y usos de la arena de sílice en aplicaciones geotécnicas.....	24
2.2.5.2	Impacto de la adición de arena de sílice en la mejora de subrasantes.....	26
2.2.6	Métodos de Mejora de Subrasantes	27
2.2.6.1	Revisión de técnicas y métodos convencionales para mejorar las propiedades de la subrasante	27
2.2.6.2	Evaluación de la eficacia de la incorporación de materiales como ceniza de carbón mineral y arena de sílice	28
2.2.7	Comportamiento Mecánico de Suelos Mejorados	30
2.2.7.1	Factores que influyen en la resistencia y estabilidad de las subrasantes mejoradas.....	30
2.2.8	Suelo.....	31



2.2.8.1	Clasificación de suelos.....	32
2.2.8.2	Características de los suelos.....	33
2.3	Marco conceptual	38

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Diseño de la investigación	42
3.2	Métodos de la investigación	43
3.3	Nivel y tipo de investigación	43
3.3.1	Tipo de la investigación	43
3.3.2	Nivel de la investigación.....	44
3.4	Población y muestra de la investigación	44
3.4.1	Población.....	44
3.4.2	Muestra.....	44
3.5	Técnicas e instrumentos.....	45
3.5.1	Técnicas.....	45
3.5.2	Instrumentos	46
3.6	Validación y confiabilidad del instrumento.....	46
3.6.1	Validación de los instrumentos	46
3.6.2	Confiabilidad de instrumentos	47
3.7	Procedimiento de recolección de datos.....	47
3.7.1	Procedimiento.....	48
3.7.2	Ensayos en laboratorio.....	52
3.8	Procesamiento y análisis de datos	58

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Presentación y análisis de resultados	59
4.1.1	Propiedades del suelo de la subrasante.....	59



4.1.2	Influencia de residuos calcinados de carbón mineral + arena de sílice (5%,10% y 15%) en el índice de plasticidad	68
4.1.3	Influencia de residuos calcinados de carbón mineral + la arena de sílice en el grado de compactación	73
4.1.4	Influencia de residuos calcinados + arena de sílice en la capacidad de soporte (CBR) 80	
4.2	Discusión de resultados.....	84
CONCLUSIONES		85
RECOMENDACIONES.....		87
BIBLIOGRAFÍA		89
ANEXOS		92



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables	6
Tabla 2	Número de muestras ensayadas	45
Tabla 3	Detalles sobre las calicatas	49
Tabla 4	Presencia de humedad de las calicatas	59
Tabla 5	Índice plástico de las muestras- naturales	62
Tabla 6	Condición de compactación del suelo de apoyo	63
Tabla 7	Resultados de California Bearing Ratio de las calicatas	66
Tabla 8	Anexión del 5% de RC + AS en la subrasante – Índice plástico.....	69
Tabla 9	Anexión del 10% de residuos calcinados + arena de sílice – Índice plástico.....	70
Tabla 10	Anexión del 15% de residuos calcinados + arena de sílice – Índice plástico...	71
Tabla 11	Comparativa del Índice plasticidad	72
Tabla 12	Anexión del 5% de residuos calcinados + arena de sílice - MDS.....	73
Tabla 13	Anexión del 10% de residuos calcinados + arena de sílice - MDS.....	74
Tabla 14	Anexión del 15% de residuos calcinados con arena de sílice - MDS	75
Tabla 15	Comparativa de MDS	76
Tabla 16	Anexión del 5% de residuos calcinados + arena de sílice -OCH.....	77
Tabla 17	Anexión del 10% de residuos calcinados más arena de sílice - OCH	78
Tabla 18	Anexión del 15% de residuos calcinados + arena de sílice - OCH.....	79
Tabla 19	CBR- adicionando el 5 % de residuos calcinados + arena de sílice	80
Tabla 20	CBR- adicionando el 10 % de residuos calcinados + arena de sílice	81
Tabla 21	CBR- adicionando el 15 % de residuos calcinados + arena de sílice	82
Tabla 22	Resumen de CBR- adicionando de residuos calcinados + arena de sílice.....	83



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Localización de los puntos de exploración	49
Figura 2	Localización de C-1.....	50
Figura 3	Localización de C-2.....	50
Figura 4	Localización de C-3.....	51
Figura 5	Ensayo de densidad de suelos.....	53
Figura 6	Preparación de muestras	55
Figura 7	Tamizado de muestras.....	55
Figura 8	Ensayo de Proctor.....	56
Figura 9	Presencia de humedad en las calicatas	60
Figura 10	Análisis granulométrico de calicata 1	61
Figura 11	Análisis granulométrico de calicata 2.	61
Figura 12	Análisis granulométrico de C-03.....	62
Figura 13	Coeficiente de plasticidad de los suelos naturales	63
Figura 14	Condición de compactación del suelo de apoyo C-1	64
Figura 15	Condición de compactación del suelo de apoyo C-2.....	64
Figura 16	Condición de compactación del suelo de apoyo C-3.....	65
Figura 17	Comparativa del grado de compactación en la subrasante	65
Figura 18	Sondeo 1 - Índice de Capacidad de Soporte	66
Figura 19	Sondeo 2 - Índice de Capacidad de Soporte	67
Figura 20	Sondeo 2 - Índice de Capacidad de Soporte	67
Figura 21	Resumen de CBR en las calicatas	68
Figura 22	Anexión del 5% de residuos calcinados + arena de sílice – Índice plástico ...	69
Figura 23	Anexión del 10% de residuos calcinados + arena de sílice – Índice plástico .	70
Figura 24	Anexión del 15% de residuos calcinados + arena de sílice – Índice plástico .	71
Figura 25	Comparativa del índice de plasticidad	72
Figura 26	Anexión del 5% de residuos calcinados + arena de sílice	73
Figura 27	Anexión del 10% de residuos calcinados + arena de sílice - MDS	74
Figura 28	Anexión del 15% de residuos calcinados + arena de sílice - MDS	75
Figura 29	Comparativa de MDS.....	76
Figura 30	Anexión del 5% de ceniza + arena de sílice - OCH.....	77
Figura 31	Anexión del 10% de residuos calcinados + arena de sílice - OCH	78



Figura 32	Anexión del 15% de residuos calcinados + arena de sílice - OCH	79
Figura 33	CBR- adicionando el 5 % de residuos calcinados + arena de sílice	80
Figura 34	CBR- adicionando el 10 % de residuos calcinados + arena de sílice	81
Figura 35	CBR- adicionando el 15% de residuos calcinados + arena de sílice	82
Figura 36	Comparativa de CBR	83



RESUMEN

En el estudio actual titulado "Análisis comparativo de las propiedades de las subrasantes con incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en la avenida Tintaya", la Avenida Tintaya en Juliaca tiene una puntuación de plasticidad muy alta de 21,26%. Además, un contenido de humedad ideal de 8.157% se combina con una densidad seca máxima de 1.782 gr/cm³. Para evaluar la capacidad portante se ha calculado un índice CBR de 5,63% y 5,31% al 100% y 95% del MDS, respectivamente. Estos valores no cumplen las normas de la DG-2018 y demuestran una capacidad portante insuficiente, La ceniza de carbón mineral + arena de sílice en porcentajes de 5%, 10% y 15% tiene un efecto positivo en el índice de plasticidad. Se observa una disminución del índice del 19.39% al 19.06% al agregar un 5% de ceniza de carbón mineral + arena de sílice. Con una mayor Anexión del 10% se tuvo un índice de 15.80%, y con un 15% de Anexión, se logró un índice de plasticidad de 11.21%, La Anexión de ceniza de carbón mineral + arena de sílice en porcentajes de 5%, 10% y 15% tiene un efecto positivo en el grado de compactación. Se observa un aumento en la máxima densidad, pasando de 1.78 a 1.96 gr/cm³ con un 5% de ceniza de carbón mineral + arena de sílice. Asimismo, con el 10% resultó en una máxima densidad de 2.128 gr/cm³, y con un 15%, se alcanzó una máxima densidad de 2.133 gr/cm³.

Palabras Clave: Ceniza, Propiedades del suelo, Subrasante, Arena de sílice.



ABSTRACT

In the current study entitled "Comparative analysis of the properties of subgrades with the incorporation of coal ash and silica sand in Tintaya Avenue", the Tintaya Avenue in Juliaca has a very high plasticity score of 21.26%. In addition, an ideal moisture content of 8,157% is combined with a maximum dry density of 1,782 gr/cm³. To evaluate the bearing capacity, a CBR index of 5.63% and 5.31% at 100% and 95% of the MDS, respectively, was calculated. These values do not meet the DG-2018 standards and demonstrate insufficient bearing capacity, Coal ash + silica sand in percentages of 5%, 10% and 15% has a positive effect on the plasticity index. A decrease in the index from 19.39% to 19.06% is observed with the addition of 5% coal ash + silica sand. With a higher addition of 10%, an index of 15.80% was obtained, and with a 15% addition, a plasticity index of 11.21% was achieved. The addition of coal ash + silica sand in percentages of 5%, 10% and 15% has a positive effect on the degree of compaction. An increase in maximum density from 1.78 to 1.96 gr/cm³ was observed with 5% coal ash + silica sand. Likewise, 10% resulted in a maximum density of 2.128 g/cm³, and 15% resulted in a maximum density of 2.133 g/cm³.

Key words: Ash, Soil properties, Subgrade, Silica sand.



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, es crucial promover la utilización responsable de los recursos naturales y explorar alternativas ecológicas. La ingeniería civil está poniendo cada vez más énfasis en la optimización de los materiales de construcción para infraestructuras como un campo de investigación crucial. La Avenida Tintaya está situada en Juliaca y el propósito de este estudio es evaluar el impacto de los componentes inorgánicos en las características del suelo de subrasante.

Una infraestructura de transporte eficiente es crucial para el desarrollo y expansión de las ciudades. Esto requiere una investigación sobre soluciones de vanguardia que aborden los problemas tecnológicos y al mismo tiempo minimicen los efectos adversos sobre el medio ambiente. Un compuesto inorgánico se define como cualquier sustancia que carece de átomos de carbono. Se utilizan insumos en forma de una amplia gama de materiales.

Juliaca, ciudad situada muy cerca de la avenida Tintaya, se enfrenta a importantes retos relacionados con la estabilidad y durabilidad del suelo subyacente. Estas normas son esenciales para garantizar la durabilidad y la seguridad de las redes viales. El objetivo de este estudio es mejorar las características mecánicas del suelo mediante la incorporación de aditivos inorgánicos. Además, su principal objetivo es abordar las cuestiones medioambientales mediante la reutilización de materiales de desecho inorgánicos a través del proceso de reciclado.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática

A lo largo de la historia, la gente ha utilizado estabilizadores naturales como residuos calcinados y puzolanas para aumentar la resistencia de los suelos. Con el tiempo, a medida que se expandían las zonas urbanas, aumentó la demanda de transporte, lo que dio lugar a que se prestara mucha atención al avance y examen de los pavimentos y sus métodos de construcción. Sin embargo, en esta investigación se descuidó el estudio de la estabilidad. No obstante, a principios del siglo XX, las devastadoras carreteras, la estabilización del suelo volvió a convertirse en una consideración crucial. (Averos, 2019)

Un estudio realizado en Perú ha examinado la utilización de diferentes materiales, como ceniza de quinua, cal, ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de bagazo de caña de azúcar, con el fin de estabilizar la subrasante. Se ha demostrado que la inclusión de estos componentes mejora las cualidades mecánicas del suelo, como demuestran estas investigaciones. Cuando se introdujo 9% de ceniza de quinua y 5% de ámbar, hubo una alteración marginal la capacidad de carga del suelo. (Castro Maldonado et al., 2023)



Se han realizado múltiples estudios para abordar el problema de la estabilidad de la subrasante en la región de Puno. En Puno, Perú, se llevó a cabo un proyecto de estabilización de subrasantes utilizando ceniza de bagazo y ámbar de ciprés natural. La investigación reveló que la inclusión de ceniza de bagazo y ámbar de ciprés natural mejoraba las características mecánicas del suelo. Esto se evidenció por un aumento en el índice de soporte CBR (California Bearing Ratio) y una reducción en el contenido de humedad ideal. Se llevó a cabo otra investigación para examinar la técnica de mejora de la durabilidad de los suelos arcillosos mediante la integración de residuos calcinados de madera adquiridas en hornos de ladrillos convencionales. Los resultados mostraron que el índice de flexibilidad disminuía y la densidad seca aumentaba cuando se incluían residuos calcinados de madera. Los resultados indican que el problema de la estabilidad de la subrasante en la región de Puno se ha abordado mediante la utilización de diversos materiales, lo que ha dado lugar a mejoras favorables de las características del suelo. (Condori Supo, 2023)

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 *Problema general*

¿Cuál es la variación de las propiedades de la subrasante con incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca?

1.2.2 *Problemas específicos*

1. ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca?
2. ¿Cuál es la variación del índice de plasticidad de la subrasante con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca?



3. ¿Cuál es la variación del grado de compactación de la subrasante con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca?
4. ¿Cuál es la variación del CBR de la subrasante con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Analizar y comparar las propiedades de la subrasante con incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.
2. Determinar la variación del índice de plasticidad de la subrasante con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.
3. Determinar la variación del grado de compactación de la subrasante con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.
4. Determinar la variación del CBR de la subrasante con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.



1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación técnica

Tratará de determinar las combinaciones y proporciones óptimas de los componentes naturales del suelo, junto con aditivos sintéticos como residuos calcinados y la arena de sílice, que pueden crearse mediante un proceso de combustión. El objetivo de esta investigación es mejorar la comprensión científica de los mejores elementos a utilizar en la composición del suelo de subrasante.

1.4.2 Justificación económica

El objetivo en el ámbito económico es minimizar los gastos asociados a la preservación de los suelos naturales. Esto se hace para reducir la necesidad de alternativas más costosas como el enrocado o el uso de geomallas. El objetivo de este estudio es disminuir los costes relacionados con la estabilización de la ruta específica investigada. El objetivo principal es evitar incurrir en costes de mantenimiento una vez que la carretera se haya cambiado a un pavimento flexible.

1.4.3 Justificación social

La presente investigación propuesta busca mejorar y contribuir a mejorar la calidad de vida de la población, esto con el empleo sostenible y ecológico la incorporación de residuos calcinados de carbón mineral y arena de sílice sobre los suelos subrasantes de las vías y accesos vehiculares o poblacionales de la ciudad, el empleo de estos materiales fomentaría el reciclaje y las distintas actividades derivadas de las mismas y de cierta manera apoyar a la economía de esta sociedad, como también el empleo de estos nuevos materiales significaría la la creación de nuevos empleos para la población habitante de la zona.



1.4.4 Justificación ambiental

El objetivo del estudio propuesto es mejorar el bienestar general de los habitantes mediante el uso de polímero acrílico de una manera sostenible y respetuosa con el medio ambiente para abordar los suelos subterráneos de las carreteras y caminos de acceso de la ciudad. Este método no sólo fomenta y apoya las iniciativas de reciclaje, sino que también ofrece asistencia financiera al sector social. Además, estos recursos pueden utilizarse para mejorar y moldear las carreteras en beneficio del público en general.

1.5 Hipótesis de la investigación

1.5.1 Hipótesis general

La variación de las propiedades de la subrasante con incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice es significativa respecto al suelo patrón en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.

1.5.2 Hipótesis específicas

1. Las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca, se calificarán como suelos de subrasante inadecuados.
2. La variación del índice de plasticidad de la subrasante es regular y reducirá significativamente con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.
3. La variación del grado de compactación de la subrasante es alta y aumentará considerablemente con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.
4. La variación del CBR de la subrasante es alta e incrementará significativamente con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.

1.6 Variables e indicadores

1.6.1 Variable independiente

Ceniza de carbón mineral y arena de sílice

1.6.2 Variable dependiente

Propiedades del suelo de subrasante

1.7 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable independiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos de medición
CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SÍLICE	<p>Las residuos calcinados de carbón son los residuos incombustibles que quedan tras la combustión de sustancias como el carbón o el carbón vegetal.</p> <p>Este material se utiliza en una gran variedad de aplicaciones industriales y de construcción gracias a sus propiedades físicas y químicas.</p>	Porcentaje de incorporación	Ceniza de carbón mineral y arena de sílice en dosificaciones de 5%, 10% y 15%.	Bandejas y herramientas de laboratorio
Variable dependiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos de medición
PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE	<p>Propiedades físicas y mecánicas del suelo que impactan su capacidad para soportar peso, facilitar el drenaje del agua y resistir la deformación. La idoneidad del suelo como subrasante en proyectos se evalúa mediante ensayos de laboratorio y de campo para estudiar sus cualidades.</p>	Propiedades físicas y mecánicas	<ul style="list-style-type: none">• Grado de compactación• Capacidad de soporte	<p>Equipos y herramientas de laboratorio</p> <p>Fichas de control de calidad de laboratorio</p>



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Para, (Zimar et al., 2022) en su investigación **titulada** “Aplicación de residuos calcinados volantes de carbón en la estabilización de subrasantes de pavimentos: una revisión” Este artículo investiga el proceso de estabilización con residuos calcinados volantes en varios tipos de arcilla, incluyendo arcillas de baja plasticidad, arcillas de alta plasticidad, arcillas limosas, arcillas orgánicas y turbas. La revisión comienza con el análisis de los atributos de las residuos calcinados volantes, seguido de una evaluación de las propiedades de las subrasantes estabilizadas con residuos calcinados volantes. El gráfico representa el proceso a nivel micro y las características físicas, mecánicas e hidráulicas de los pavimentos estabilizados utilizando residuos calcinados volantes de Clase C y F. Los estudios a nivel micro sugieren que la reacción puzolánica es más efectiva que el intercambio catiónico en la estabilización con residuos calcinados volantes. La Anexión de residuos calcinados volantes y el uso de técnicas de curado condujeron a una

mejora de la resistencia a la compresión (UCS), del coeficiente de soporte de California (CBR) y del módulo resiliente (Mr) en la mayoría de los suelos blandos, excepto en las arcillas de turba. Para obtener los mejores resultados, es aconsejable utilizar un 15% de residuos calcinados volantes de clase C y dejarlas curar durante 7 días, teniendo en cuenta sus propiedades mecánicas e hidráulicas. Este estudio pretende proporcionar conocimientos esenciales a estudiosos e ingenieros sobre la elección más eficaz de las técnicas de estabilización con residuos calcinados volantes para la expansión de subrasantes.

Para, (Marik et al., 2022) Se llevó a cabo un estudio **titulado** "Investigación sobre el uso de aditivos a base de sílice para la construcción sostenible de subrasantes" Este estudio demuestra el posible uso de cemento y StabilRoad, un aditivo a base de sílice, con el fin de estabilizar el suelo de la subrasante. Se llevó a cabo una evaluación exhaustiva para determinar las características de compactación, el coeficiente de soporte de California (CBR) y la resistencia a la compresión no confinada (UCS) del suelo, el cemento y el aditivo StabilRoad en diferentes proporciones de cemento y del aditivo. Se utilizaron las técnicas de difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica de barrido (SEM) para examinar el mecanismo subyacente responsable del proceso de estabilización. La aplicación de esta enmienda ha dado lugar a una mejora de la eficacia mecánica de la mezcla de suelo. La Mediante el empleo de este producto químico para la estabilización de la subrasante, los gastos totales disminuyeron debido a una reducción en el espesor de la costra del pavimento. Por lo tanto, nuestro estudio afirma la viabilidad de emplear cemento y StabilRoad para reforzar la subrasante, lo que se traduce en importantes ventajas económicas.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Para, Mendoza (2019) en la revista titulada "Estudio comparativo de estabilización de suelos arcillosos entre las adiciones de cemento, cal y ceniza de carbón para



subrasante”, El objetivo de este estudio fue evaluar y contrastar las características físicas y mecánicas de un suelo arcilloso cuando se mezcla con tres aditivos distintos: cemento, cal y ceniza de carbón. Las proporciones de estas adiciones utilizadas fueron 4%, 7%, 10% y 13%. El estudio utiliza metodologías de investigación cuantitativa como técnicas de observación, análisis de documentos, regulaciones, pruebas de mecánica de suelos y formatos de procesamiento de información. Estos enfoques se emplean para evaluar y determinar la Anexión particular y su proporción ideal que mejore las características físicas y mecánicas del suelo arcilloso, haciéndolo apropiado como subrasante mejorada. El estudio concluyó que las tres combinaciones dieron como resultado características mejoradas del suelo arcilloso cuando se aplicó una Anexión del 7%. Estas mejoras abarcaron una menor flexibilidad y permeabilidad, al mismo tiempo que aumentaron la trabajabilidad y la resistencia. De las otras combinaciones, la combinación suelo/cemento mostró la mayor resiliencia cuando se agregó un 13%, lo que la convierte en la mejor opción. A medida que crece la magnitud de esta combinación, la flexibilidad de la muestra disminuye, lo que lleva a una disminución de su resistencia. La mezcla tierra-cal tiene características de rápida estabilización al entrar en contacto con el suelo, ya que se activa con una pequeña cantidad de humedad. A diferencia de las mezclas de suelo/cemento y de suelo/residuos calcinados de carbón, la resistencia de las mezclas de suelo/cal y de suelo/residuos calcinados de carbón no se ve influenciada por la duración del proceso de curado. Por lo tanto, una curación de sólo 7 días es suficiente. Sin embargo, la longevidad de la combinación suelo/cemento dependerá de la duración del proceso de curado.

Seguidamente, (Baldeon Sauñe, 2019) en su trabajo titulado “Análisis del Uso de la Arena de Sílice en la Estabilización de la Subrasante” El objetivo de este estudio fue analizar el impacto global de la utilización de arena sílice para la estabilización de la subrasante de la ruta Chupuro - Vista Alegre en la Región Junín. El objetivo principal de este estudio fue examinar los resultados de la utilización de arena sílice para reforzar la subrasante de la carretera Chupuro - Vista Alegre en la Región Junín. La hipótesis principal



examinada fue que la Anexión de arena silíceo mejora las características físico-mecánicas en la estabilización de la subrasante para esta ruta específica. El enfoque de investigación utilizado fue científico, empleando específicamente una estrategia de investigación aplicada. La investigación utilizó una metodología descriptiva-explicativa. El estudio empleó un diseño de investigación cuasiexperimental. La metodología de investigación empleada fue cuantitativa. El método de muestreo utilizado fue no probabilístico. El estudio se centró en la población residente en la zona que comprende la ruta Chupuro - Vista Alegre - Chicche - Chongos Alto - Huasicancha, que cubre una distancia total de 58 kilómetros. El material elegido para el análisis fue tomado del tramo de la carretera que se extiende desde el kilómetro 20+940 hasta el kilómetro 21+940. El experimento constató que la Anexión de arena de sílice a la subrasante mejoraba sus propiedades físicas y mecánicas, con resultados positivos. Esto la convierte en una alternativa viable para las subrasantes que presentan una capacidad de carga inadecuada, una densidad deficiente en condiciones secas, elevados niveles de humedad y altos índices de plasticidad.

Finalmente, para, (Guevara Tuesta, 2022) la investigación técnica **titulada** "Influencia de la Anexión de las escorias del horno eléctrico de Sider Perú en la estabilización de subrasante para pavimentos en Chimbote" El objetivo principal de este estudio fue evaluar el impacto del uso de escoria de horno eléctrico de Sider Perú en la estabilización de la subrasante del pavimento en Chimbote. Para ello, se realizó un examen para evaluar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la escoria de horno eléctrico obtenida de Sider Perú. Posteriormente, se seleccionó un sitio específico (Jr. Magallanes entre Jirón el Sol y Pasaje Sin Número en el Asentamiento Humano San Pedro) para recoger muestras de la capa de suelo subyacente y conocer el tipo y clasificación de los suelos en esa vecindad. Las muestras se seleccionaron mediante un proceso no probabilístico. La muestra de control se evaluó sin ningún componente adicional, mientras que otras tres muestras se ensayaron con proporciones variables de escoria añadida (10%, 15% y 20%). El suelo ha sido clasificado como SP según la técnica SUCS (Unified Soil



Classification standard) y A-3 según la norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). La composición del material consiste en arenas mal clasificadas (SP) y tiene un California Bearing Ratio (CBR) de 12,8 cuando se compacta al 95%. El contenido orgánico de la sustancia es del 12,60%, y su densidad máxima en seco (DMS) es de 1,676 g/cm³. De las tres combinaciones, se determinó que la inclusión del 20% produjo los resultados más favorables. Esto se evidenció por el mayor aumento del CBR (California Bearing Ratio) de la subrasante, alcanzando un valor de 33,7% (igual a 163,3%). Además, se produjo una disminución del 11,2% en el Contenido Orgánico del suelo (CO) y un aumento del 6,56% en la Densidad Máxima en Seco (DMS), alcanzando un valor de 1.786 gramos por centímetro cúbico.

2.1.3 Antecedentes regionales

Calderón (2022) realizó un estudio titulado "El Impacto de la Estabilización de la Subrasante con Cal Viva y Ceniza de Cañihua en las Características de la Carretera Caracoto – Suches, Puno, 2022". El objetivo de este estudio es evaluar el impacto de los métodos de estabilización de suelos con cal (C) y ceniza de cañihua (CC) en las características de la subrasante del tramo carretero Caracoto - Suches en la zona de Puno en el año 2022. El estudio empleó una investigación aplicada. técnica con el objetivo explícito de clarificar los factores explicativos. El diseño del estudio se clasificó como cuasiexperimental, empleando una técnica cuantitativa. Los hallazgos indican que el índice plástico del suelo, medido inicialmente en 17,02%, disminuyó en 1,12%, 2,65% y 3,35% cuando se utilizaron diferentes combinaciones de carbonato de calcio (C) y cloruro de calcio (CC) en concentraciones del 5%. C y 4% CC, 5% C y 7% CC, y 5% C y 10% CC, respectivamente.



2.2 Bases teóricas

2.2.1 Ceniza de carbón mineral

Las residuos calcinados de carbón son un subproducto que se forma cuando el carbón se quema en diversas instalaciones industriales como centrales eléctricas, plantas de producción de acero, cementeras y establecimientos similares. El carbón y otras sustancias orgánicas se oxidan en presencia de oxígeno durante el proceso de combustión, dando lugar a la creación de restos sólidos conocidos como residuos calcinados de carbón. (Machaca Calla & Yucra Mendoza, 2022)

Existen dos categorías principales de residuos calcinados: las residuos calcinados volantes y las residuos calcinados de fondo. Las residuos calcinados volantes, también conocidas como residuos calcinados de combustible pulverizado, son residuos finamente divididos que se dispersan en la atmósfera durante el proceso de combustión y luego se recogen en filtros diseñados para capturar partículas. Por otro lado, las residuos calcinados de fondo, también denominadas residuos calcinados de horno o de caldera, son más compactas y se quedan estancadas en la parte más baja de los hornos o calderas.

La composición de las residuos calcinados de carbón depende de varios factores, como el tipo de carbón utilizado, las condiciones durante la combustión y los dispositivos de control de emisiones utilizados. Suele estar compuesta por una mezcla de óxidos derivados de varios elementos, como calcio (CaO), silicio (SiO₂), aluminio (Al₂O₃), hierro (Fe₂O₃), magnesio (MgO) y varios oligoelementos como metales pesados (mercurio, plomo, arsénico, etc.).

La gestión eficaz de las residuos calcinados de carbón es vital para minimizar el impacto ambiental y cumplir la normativa medioambiental. Tradicionalmente, las residuos calcinados se han eliminado en vertederos específicos. Sin embargo, con el aumento de



la conciencia medioambiental y el deseo de alternativas más sostenibles, se han desarrollado diversos métodos de reciclaje de residuos calcinados.

Las aplicaciones de este material incluyen su uso en la producción de cemento y hormigón para la construcción, como aditivo al suelo para mejorar la estabilidad en la construcción de carreteras, en la fabricación de bloques de construcción, ladrillos y adoquines, e incluso en la agricultura para mejorar la calidad del suelo.

Es esencial reconocer que los residuos calcinados de carbón pueden contener trazas de metales pesados y otros contaminantes. Por lo tanto, es imperativo gestionar cuidadosamente su uso para evitar cualquier impacto perjudicial sobre el medio ambiente y el bienestar humano. El cumplimiento estricto de normas y reglamentos rigurosos es esencial para garantizar la gestión segura y responsable de este subproducto industrial. Además, la investigación actual estudia constantemente tecnologías y su uso sostenible en diversos entornos industriales y de la construcción. (Castro Cuadra, 2019)

2.2.2 Arena de sílice

La arena de sílice es una variedad distinta de arena que se compone principalmente de granos de cuarzo. Se crea mediante la unión química de silicio y oxígeno en la disposición molecular del SiO_2 . Su excelente nivel de pureza de sílice y su tamaño de partícula homogéneo lo hacen muy atractivo para diversos usos industriales, comerciales y de investigación, lo que lo distingue de otros. (Baldeon Sauñe, 2019)

El componente principal de la arena de sílice es el dióxido de silicio (SiO_2), que constituye aproximadamente el 95% o más de su composición química. Sin embargo, es fundamental reconocer que podría incluir trazas de diversos minerales y elementos, dependiendo de su fuente geológica y procedimiento de producción. La sustancia puede



contener impurezas como óxidos de aluminio, óxidos de hierro, óxidos de calcio, óxidos de magnesio, óxidos de potasio, óxidos de sodio y otros oligoelementos.

- La arena de sílice se puede crear mediante procesos geológicos naturales, incluida la erosión y desintegración de rocas de cuarzo, la influencia del viento y el agua en los depósitos de sedimentos o la modificación química de minerales de silicato. Además, puede generarse sintéticamente mediante procedimientos que implican pulverizar, tamizar y refinar rocas de cuarzo o sílice pura.
- La arena de sílice se obtiene de fuentes naturales mediante métodos de minería a cielo abierto o subterráneo. El compuesto se somete a un procesamiento adicional para eliminar impurezas y lograr las propiedades físicas y químicas exactas necesarias para la aplicación prevista. Estos procesos pueden abarcar actividades como purificar, filtrar, clasificar, eliminar la humedad y mejorar.
- La industria del vidrio depende de la arena de sílice debido a su alta concentración de sílice y su capacidad de volverse líquida a altas temperaturas, lo que facilita la producción de artículos de vidrio transparente de alta calidad.
- La industria de la fundición utiliza arena de sílice tanto para funciones de moldeo como de refuerzo en moldes y núcleos de fundición, debido a su excepcional resistencia al calor y su capacidad para conservar su forma.
- La arena de sílice se utiliza en la industria de la construcción como material de relleno en hormigón, mortero y otros materiales de construcción. Además, se emplea en la producción de adoquines, ladrillos y tejas.
- El dióxido de silicio se utiliza ampliamente en la industria química para producir una variedad de productos químicos, incluidos abrasivos, filtros, productos cerámicos y productos químicos especializados. Esto se debe a su excepcional estabilidad química y su capacidad para funcionar como agente de carga o relleno.
- La industria del petróleo y el gas utiliza la fracturación hidráulica, comúnmente conocida como fracking, como técnica para extraer petróleo y gas. En este método

se emplea arena de sílice como apuntalante para inducir fracturas en los estratos geológicos, facilitando así la liberación de hidrocarburos.

- El tantalio se emplea en la industria electrónica debido a sus cualidades dieléctricas y su capacidad de ofrecer una superficie impecable y consistente, lo que lo hace muy adecuado para la producción de semiconductores, circuitos integrados y otros dispositivos electrónicos.
- Las aplicaciones de filtración son ideales para eliminar partículas y contaminantes del agua y otros líquidos debido a su alta porosidad y capacidad para retener impurezas.

Estos ejemplos representan sólo una pequeña fracción de las numerosas aplicaciones de la arena de sílice. Sin embargo, su adaptabilidad lo hace imprescindible en diversos sectores y procesos. Es fundamental reconocer que, si bien la arena de sílice se utiliza comúnmente, debe manipularse con precaución debido a los posibles riesgos para la salud respiratoria asociados con la inhalación de partículas minúsculas de sílice. Por lo tanto, es imperativo seguir estrictamente las medidas de seguridad adecuadas durante la manipulación y el procesamiento.

2.2.3 Características de la Subrasante

Las características de la subrasante pertenecen a las propiedades físicas y mecánicas del suelo que constituye la capa fundamental de una carretera o pavimento. El material posee varias características, como capacidad de carga, permeabilidad, coeficiente de expansión térmica, capacidad de compactación, uniformidad, resistencia a la fuerza cortante y propiedades de expansión y contracción. La evaluación de la capacidad de la subrasante para soportar cargas de tráfico y preservar la integridad estructural del pavimento depende en gran medida de estos atributos. (Averos, 2019)

La frase "subrasante" se refiere a la capa de suelo natural ubicada debajo de la base de un pavimento o camino. Los principales atributos consisten en:

- La compactación es el acto de mejorar la densidad y resistencia del suelo debajo de un sitio de construcción. Esto se hace para establecer una base sólida para el pavimento.
- La uniformidad se refiere a la condición de poseer características consistentes en el suelo a lo largo y ancho de toda la sección de la carretera. La ejecución de esta operación es crucial para evitar discrepancias que podrían dar lugar a asignaciones desiguales.
- Crecimiento El coeficiente cuantifica la vulnerabilidad del suelo a expandirse o contraerse en respuesta a cambios de humedad y temperatura, influyendo así en la estabilidad del pavimento.
- Lo que ayuda a evitar que el pavimento se deteriore debido a la acumulación de agua.
- La deformación generada por las cargas del tráfico, preservando así la integridad estructural del pavimento.
- Estos aspectos son esenciales para garantizar la integridad y durabilidad de la infraestructura vial, al mismo tiempo que disminuyen los costos de mantenimiento a largo plazo.

2.2.3.1 Definición y descripción de la subrasante en el contexto vial

La subrasante es un elemento esencial de la estructura de la carretera, ubicada directamente debajo de los cimientos del pavimento. El término "sustrato" se refiere a la capa natural de suelo o topografía sobre la cual se construye la carretera o pavimento. La subrasante es crucial en la construcción de carreteras ya que garantiza la estabilidad y durabilidad del pavimento. Funciona como base que soporta la carga de los vehículos y la dispersa uniformemente en el suelo subyacente. (Condori Supo, 2023)

Cuando se habla de construcción de carreteras, la descripción de la subrasante implica evaluar numerosas características y propiedades geotécnicas que influyen en su desempeño. Los factores que abarca son:

- La composición del suelo de la subrasante puede comprender varios suelos naturales, como arcillas, limos, arenas, gravas o una combinación de los mismos. La composición del suelo afecta sus propiedades físicas y mecánicas.
- El espesor de la subrasante puede variar según las condiciones del suelo y las especificaciones de diseño de la carretera. Un espesor adecuado garantiza la resistencia estructural necesaria para soportar la carga del tráfico.
- La compactación es crucial para garantizar que la subrasante se triture adecuadamente durante la construcción para mejorar su densidad y resistencia. La compactación mejora la capacidad del suelo para soportar la deformación bajo una carga y aumenta su capacidad para soportar peso.
- La estabilidad de la subrasante puede verse influenciada por la profundidad del nivel freático o la presencia de agua subterránea. Un aumento del nivel freático podría provocar problemas de drenaje y debilitar la capacidad del suelo para soportar peso.
- La consistencia es esencial para la subrasante, ya que debe poseer una superficie uniforme y nivelada a lo largo de toda la carretera. Es imperativo distribuir uniformemente el peso del tráfico para evitar un asentamiento desigual.
- Un drenaje adecuado es fundamental para que la subrasante evite la acumulación de agua, lo que puede provocar la degradación del suelo y la inestabilidad del pavimento. En caso necesario, se pueden llevar a cabo medidas de drenaje, como la excavación de zanjas o la instalación de sistemas de drenaje subterráneo.

En el contexto de las carreteras, la subrasante se refiere a la capa fundamental de suelo natural que es crucial para proporcionar el soporte estructural requerido para la

construcción de carreteras y pavimentos. El examen exhaustivo del pavimento implica evaluar variables como la composición del suelo, espesor, compactación, nivel freático, uniformidad y drenaje. Estas características son cruciales para garantizar la estabilidad y durabilidad del pavimento. (Guevara Tuesta, 2022)

2.2.3.2 Factores que influyen en las propiedades de la subrasante

Las características de la subrasante están determinadas por una variedad de elementos físicos, geológicos y ambientales que impactan la capacidad de este estrato de suelo para soportar cargas de tráfico y preservar la estabilidad del pavimento. (Guevara Tuesta, 2022)

- Dentro del mismo. Los porcentajes más altos de partículas finas en los suelos generalmente se asocian con una menor capacidad de drenaje y un mayor riesgo de compactación.
- Contenido de humedad: La cohesividad y maleabilidad del suelo están influenciadas por su contenido de humedad. Mientras que los suelos secos pueden volverse quebradizos y propensos a deformarse, los suelos con alto contenido de humedad suelen ser más blandos y menos estables.
- Densidad y compactación: la capacidad del suelo para soportar peso y resistir la deformación está muy influenciada por su nivel de compactación. Debido a que está más densamente compactada y es más resistente, una subrasante bien compactada puede soportar cargas de tráfico sin pandearse.
- Nivel freático: La estabilidad de la subrasante puede verse afectada por la profundidad del nivel freático y la existencia de agua subterránea. El aumento de la presión del agua debido a niveles más altos del nivel freático puede reducir la capacidad del suelo para sustentar la vida.
- Carga de tráfico: el comportamiento y el ritmo de degradación de una subrasante están influenciados por el volumen y la frecuencia del tráfico que pasa sobre ella.

Las cargas pesadas o el uso excesivo de vehículos pueden exacerbar y distorsionar la compactación del suelo.

- **Clima:** Varios factores, como la temperatura y las precipitaciones, pueden afectar las características del suelo. Las variaciones estacionales y las inclemencias del tiempo pueden hacer que el suelo se contraiga y se expanda, poniendo en peligro su estabilidad.
- **Actividad biológica:** La estabilidad y estructura del suelo de subrasante pueden verse afectadas por la existencia de raíces de árboles o la actividad de los organismos del suelo.

En conclusión, las características de la subrasante y su capacidad para soportar cargas de tráfico están influenciadas por una variedad de parámetros, incluyendo el tipo de suelo, composición granulométrica, contenido de humedad, densidad y compactación, nivel freático, carga de tráfico, circunstancias climáticas y actividad biológica. Para mantener la estabilidad y durabilidad del pavimento, estos aspectos deben tenerse cuidadosamente en cuenta durante las fases de diseño y construcción de una carretera.

2.2.4 Propiedades de la Ceniza de Carbón Mineral

- Normalmente, se compone de óxidos metálicos como sílice, aluminio, hierro, calcio y magnesio, junto con componentes orgánicos e inorgánicos.
- **Distribución del tamaño de las partículas:** Los residuos calcinados de carbón exhiben un amplio espectro de tamaños de partículas, incluyendo partículas gruesas y más grandes, así como partículas más pequeñas y finamente procesadas. El tamaño de las partículas de los residuos calcinados de carbón influye en su reactividad y en su capacidad para crear una estructura sólida cuando se mezclan con el suelo o el hormigón.

- La actividad puzolánica se refiere a la capacidad de los residuos calcinados de carbón de experimentar del cemento, lo que da lugar a la formación de compuestos suplementarios que mejoran la durabilidad y robustez del hormigón.
- El uso de residuos calcinados de carbón en la construcción puede mejorar la sostenibilidad medioambiental al minimizar los residuos de los vertederos y reducir la necesidad de recursos naturales como la arena y la grava.

En resumen, los residuos calcinados de carbón son un material de desecho polifacético que posee una amplia gama de características físicas, químicas y mecánicas, lo que las hace adecuadas para diversos fines de construcción e ingeniería. El sector de la construcción valora mucho este producto químico por su capacidad para mejorar las características de los suelos y los materiales de construcción, así como por su ventajoso impacto en el medio ambiente.

2.2.4.1 Composición y características físico-químicas de la ceniza de carbón

La composición y las características fisicoquímicas de los residuos calcinados de carbón pueden variar considerablemente en función del tipo específico de carbón, las condiciones de combustión y los métodos utilizados para su recogida y tratamiento. Los residuos calcinados de carbón, también conocidas como residuos de la combustión del carbón o RCC, se producen principalmente a partir de la combustión del carbón en centrales térmicas de carbón. (Pérez & Fernando, 2016)

- Los residuos calcinados de carbón se componen principalmente de una serie de óxidos metálicos y no metálicos que se producen durante la combustión del carbón. Los óxidos mencionados comprenden sílice (SiO_2), de sodio (Na_2O) y otros más. Las cantidades relativas de estos constituyentes varían en función de la variedad de carbón y de las circunstancias específicas en las que se quema.
- Los residuos calcinados de carbón presentan un amplio espectro de atributos físicos, que varían desde partículas grandes y gruesas hasta partículas



fragmentadas diminutas. Los atributos específicos varían en función del método de recogida y análisis. Su textura puede ir de arenosa a arcillosa, mientras que su color puede variar de blanco a gris oscuro, según el contenido de carbono y minerales que contenga.

- Las residuos calcinados de carbón poseen características químicas distintivas, incluida su capacidad para interactuar con compuestos alcalinos, lo que se conoce como actividad puzolánica. Esta capacidad mejora las características del hormigón al generar nuevos compuestos que mejoran la resistencia y durabilidad del material.
- Porosidad: La ceniza de carbón tiene una estructura porosa que le permite absorber y retener agua. El nivel de porosidad de las residuos calcinados de carbón puede influir en su eficacia para mejorar la compactación del suelo y su estabilidad como estabilizador.
- Tamaño de las partículas: El tamaño de las partículas de ceniza de carbón puede variar significativamente, incluyendo tanto partículas más grandes como micropartículas más pequeñas. El tamaño de las partículas de las residuos calcinados de carbón puede influir en su reactividad y capacidad para crear una matriz sólida cuando se combinan con el suelo o el hormigón.

La composición y las propiedades fisicoquímicas de las residuos calcinados de carbón vienen determinadas por diversos factores, como el tipo de carbón, las condiciones durante la combustión y los métodos empleados para su recogida y tratamiento. Las características de las residuos calcinados de carbón determinan su utilidad y usos potenciales en diversos sectores, como la construcción, la ingeniería civil y la producción de materiales de construcción.

2.2.4.2 Efectos de la incorporación de ceniza de carbón mineral en la ingeniería vial

La utilización de residuos calcinados de carbón en la ingeniería de carreteras puede tener diversas repercusiones en las características del suelo, así como en la durabilidad y



eficacia de la infraestructura viaria. El subproducto generado en los procesos de combustión llevados a cabo en las centrales térmicas de biomasa y carbón puede recuperarse y utilizarse para el tratamiento de aguas residuales. (Rios Vilca & Neyra Vasquez, 2020)

- Los residuos calcinados de carbón pueden aumentar la estabilidad del suelo y mejorar sus cualidades mecánicas y geotécnicas. Esto supone aumentar la capacidad del suelo para soportar fuerzas de compresión y cizallamiento, así como su capacidad de carga y estabilidad.
- Aumentando su porosidad y permeabilidad. Esta técnica ayuda a minimizar la acumulación de agua en el subsuelo, reduciendo así la probabilidad de daños en el pavimento causados por la humedad.
- Mayor durabilidad del pavimento: Al integrar los residuos calcinados de carbón en los cimientos del pavimento o en la subbase, se mejora la capacidad del pavimento para soportar deformaciones y tensiones, lo que se traduce en un aumento general de la durabilidad. Esto puede conducir a una mayor vida útil del pavimento y a una reducción de los gastos de mantenimiento a largo plazo.
- La utilización de residuos calcinados de carbón como material de construcción sustitutivo puede reducir en gran medida el impacto medioambiental de los proyectos de infraestructuras viarias al reutilizar un subproducto industrial y disminuir la necesidad de recursos naturales como la grava o la arena.
- La utilización de residuos calcinados de carbón en proyectos de ingeniería viaria ofrece ventajas económicas, como la reducción de los gastos de construcción y mantenimiento, así como una mayor durabilidad de la infraestructura viaria.

En resumen, la inclusión de residuos calcinados de carbón en la construcción de carreteras puede producir varios resultados ventajosos, como la mejora de las características del suelo, la prolongación de la durabilidad del pavimento y una mayor



sostenibilidad medioambiental. Estas características lo convierten en una opción atractiva para mejorar el calibre y la eficacia de la infraestructura viaria.

2.2.5 Propiedades de la Arena de Sílice

- La arena de sílice se compone principalmente de dióxido de silicio (SiO_2), que generalmente se denomina sílice. Las fluctuaciones en la pureza y composición química de la arena de sílice pueden afectar sus propiedades e idoneidad para diversas aplicaciones.
- La arena de sílice presenta una dureza excepcional, lo que la hace extremadamente resistente tanto al desgaste como a la abrasión. Esta característica lo hace extremadamente apropiado para su uso en aplicaciones que requieren materiales duraderos y resistentes, como la producción de abrasivos y recubrimientos.
- Tamaño de grano: La arena de sílice presenta una amplia gama de tamaños de grano, que abarcan tanto polvos finos como granos gruesos. Las cualidades físicas de la arena de sílice, como la permeabilidad, la densidad y la compactabilidad, pueden verse afectadas por el tamaño de su grano.
- La morfología de los granos de arena de sílice puede presentar variaciones de forma, desde angulares hasta redondeadas, las cuales están dictadas por su origen y los procesos de erosión y tránsito que sufren. La forma y estructura de los granos pueden afectar la compresibilidad del material y su resistencia a las fuerzas cortantes.
- Permeabilidad: La arena de sílice tiene una capacidad notable para mejorar el movimiento del agua y el aire, lo que la hace crucial en situaciones que requieren un drenaje eficiente, como sistemas de filtración, drenaje de campos deportivos y lechos de arena para sistemas de tratamiento de agua.



- Debido a su no reactividad con la mayoría de los productos químicos, la arena de sílice exhibe estabilidad química. Esta característica lo hace muy adecuado para aplicaciones que requieren resistencia a la corrosión y al deterioro químico.
- La arena de sílice demuestra una resiliencia térmica excepcional, ya que es capaz de soportar temperaturas elevadas sin fundirse ni descomponerse. Esta característica lo hace muy buscado para diversas aplicaciones que requieren materiales capaces de soportar temperaturas elevadas, como moldes de fundición y aislamiento térmico.
- La arena de sílice de alta pureza tiene una transparencia excelente, lo que permite una transmisión eficaz de la luz. Sus características excepcionales lo hacen extremadamente deseable para una amplia gama de usos ópticos, incluida la producción de vidrio, fibra óptica y piezas electrónicas.

En resumen, la arena de sílice es una sustancia flexible con diversas características físicas y químicas que la hacen apropiada para numerosos usos industriales y de construcción. Debido a su amplia accesibilidad, extraordinaria longevidad y extraordinaria capacidad para resistir la corrosión y el calor, es muy valorado en varios sectores industriales.

2.2.5.1 Características y usos de la arena de sílice en aplicaciones geotécnicas

La arena de sílice posee muchas propiedades y se utiliza en aplicaciones geotécnicas, que implican la aplicación de principios de ingeniería para resolver problemas relacionados con el suelo y las construcciones erigidas sobre él.

- **Precisión en el Control de Granulometría:** La arena de sílice se puede adaptar para obtener una distribución precisa y precisa de tamaños de partículas, garantizando que se ajuste a los parámetros precisos de un proyecto geotécnico determinado. Esto permite regular la permeabilidad, densidad y otras características del suelo para cumplir con las especificaciones del proyecto.



- La arena de sílice se utiliza en aplicaciones geotécnicas para mejorar la permeabilidad del suelo controlando su porosidad. La integración de arena de sílice en el suelo puede mejorar la capacidad de drenaje de la construcción. Esto es particularmente ventajoso en proyectos de construcción que necesitan un drenaje eficaz, como carreteras, cimientos y terraplenes.
- La arena de sílice posee la capacidad de mejorar la densidad y robustez del suelo, mejorando así su compactación. Esto es particularmente ventajoso en suelos blandos o inestables que necesitan una mayor estabilidad para soportar cargas sustanciales o evitar la erosión.
- El refuerzo del suelo es el proceso de agregar arena de sílice a proyectos geotécnicos específicos para mejorar la capacidad del suelo para soportar presiones de compresión y corte. Esto es particularmente importante en regiones donde existe la necesidad de mejorar la estabilidad del suelo, como en terraplenes, taludes y muros de contención.
- La arena de sílice se utiliza en aplicaciones geotécnicas para mitigar la erosión del suelo resultante de los efectos del agua y el viento. La utilización de arena de sílice en lugares propensos a la erosión ayuda a proteger el suelo y mitigar la incidencia de la erosión del suelo.
- Mejora de la capacidad de carga: La arena de sílice puede aumentar la capacidad del suelo para soportar pesos sustanciales, permitiendo la construcción de estructuras más expansivas y pesadas en terrenos inestables. Esto es especialmente crucial en el campo de la ingeniería civil y la ejecución de proyectos de construcción de infraestructuras.

La arena de sílice posee numerosas propiedades y encuentra aplicación en contextos geotécnicos. Mejora la permeabilidad, la compactación y la resistencia del suelo, regula la erosión y fortalece el suelo para soportar cargas sustanciales. La versatilidad de

la herramienta la hace indispensable para una amplia gama de aplicaciones de construcción e ingeniería civil.

2.2.5.2 Impacto de la Anexión de arena de sílice en la mejora de subrasantes

La introducción de arena de sílice puede mejorar en gran medida la calidad de las subrasantes en proyectos de ingeniería de construcción y transporte.

- Mejora de la estabilidad: la inclusión de arena de sílice en las subrasantes puede mejorar en gran medida su estabilidad. La arena de sílice funciona como una sustancia de relleno que ayuda a llenar los espacios vacíos y las grietas del suelo, mejorando su coherencia y robustez, disminuyendo así su vulnerabilidad a la distorsión y la erosión.
- El uso de arena de sílice puede mejorar la capacidad de carga de las subrasantes. A través del proceso de fortalecer el suelo y mejorar su densidad, la inclusión de arena de sílice permite que la subrasante soporte mayores cargas sin experimentar un hundimiento excesivo o un colapso estructural.
- El uso de arena de sílice puede mejorar la permeabilidad de las subrasantes al crear una estructura porosa que ayuda en el drenaje del agua. Es particularmente crucial en regiones con abundantes precipitaciones, ya que ayuda a prevenir la acumulación de agua y mitigar el riesgo de erosión y socavación del suelo.
- La arena de sílice posee la capacidad de mitigar la expansión y contracción del suelo en subrasantes, particularmente en suelos arcillosos. La arena de sílice mejora la estabilidad del suelo y reduce su flexibilidad, mitigando así los impactos de la contracción y expansión resultantes de las variaciones de humedad y temperatura.
- La utilización de arena de sílice en subrasantes es un enfoque muy eficaz para mitigar la erosión del suelo. La arena de sílice funciona como una barrera protectora que protege el suelo de los impactos erosivos del agua y el viento. Es

particularmente crucial en regiones susceptibles a la erosión, como pendientes pronunciadas y áreas que frecuentemente experimentan altas precipitaciones.

En resumen, la incorporación de arena de sílice en las subrasantes mejora su estabilidad, capacidad de carga, permeabilidad y resistencia a la erosión. Esta propiedad lo convierte en una opción viable para mejorar y proteger el suelo en proyectos de construcción y carreteras.

2.2.6 Métodos de Mejora de Subrasantes

Los procesos de mejora de subrasante se refieren a una variedad de métodos empleados para aumentar la resistencia y estabilidad del suelo debajo de las carreteras durante la construcción y pavimentación. Estos procedimientos pueden abarcar técnicas de compactación, estabilización química o mecánica, relleno granular y actividades de drenaje para mejorar la capacidad de carga, la estabilidad y la longevidad de la subrasante. (Quispe Suma & Venero Delgado, 2021)

2.2.6.1 Revisión de técnicas y métodos convencionales para mejorar las propiedades de la subrasante

La evaluación de técnicas y metodologías convencionales para mejorar las propiedades de subrasante es un procedimiento metódico y exhaustivo que implica el examen y análisis de diferentes estrategias típicamente empleadas en ingeniería civil para fortificar y asegurar el suelo subyacente en la construcción de carreteras, pavimentación u otros proyectos civiles. (Machaca Calla & Yucra Mendoza, 2022)

- Para mejorar la subrasante, se deben reunir cuidadosamente y examinar minuciosamente métodos estándar como la compactación del suelo, la estabilización química, la estabilización mecánica, el uso de relleno granular y los procedimientos de drenaje.



- Se lleva a cabo una evaluación para determinar la compatibilidad precisa de cada tecnología en diversas condiciones geotécnicas y ambientales. Se realiza una evaluación de la idoneidad y eficacia de cada estrategia analizando las condiciones del suelo, el clima, la carga de tráfico y otros elementos relevantes.
- Las ventajas y limitaciones de cada enfoque se evalúan de acuerdo con su capacidad para mejorar las propiedades de la subrasante, su rentabilidad, el nivel de complejidad en su ejecución, su sostenibilidad ambiental y otros criterios pertinentes.
- La resistencia a la erosión y otras características importantes de la subrasante.
- Los resultados de la revisión se sintetizan para producir un resumen completo de los procedimientos tradicionales a los que se puede acceder actualmente. Este breve proporciona una descripción general de los usos recomendados, las ventajas y los factores clave a considerar al emplear estos métodos.

En resumen, el análisis exhaustivo de los métodos y técnicas convencionales para mejorar las propiedades de la subrasante requiere una evaluación meticulosa de los protocolos de ingeniería civil conocidos. El objetivo es ofrecer sugerencias confiables y bien informadas para elegir y ejecutar las soluciones más efectivas en proyectos de construcción y pavimentación.

2.2.6.2 Evaluación de la eficacia de la incorporación de materiales como ceniza de carbón mineral y arena de sílice

Para determinar la efectividad de incluir sustancias como residuos calcinados de carbón y arena de sílice, se debe realizar una evaluación y un análisis exhaustivos para comprender cómo estos materiales afectan las propiedades de la capa base y su desempeño en usos particulares, como la construcción de carreteras o la pavimentación.

(Baldeon Sauñe, 2019)



- **Recopilación de datos:** Se recopilan datos sobre las propiedades físicas, químicas y geotécnicas de la subrasante, tanto antes como después de la inyección de materiales. Además, se recopila información sobre el comportamiento del pavimento que se ha construido sobre la subrasante.
- **Análisis de propiedades del material:** este análisis tiene como objetivo investigar las distintas características de los residuos calcinados de carbón y la arena de sílice, como su composición química, distribución del tamaño de partículas, capacidad de compactación, permeabilidad, resistencia a la compresión y otras propiedades pertinentes.
- Se llevan a cabo pruebas de campo para evaluar el desempeño de la subrasante mejorada en condiciones operativas reales. Esto implica evaluar asentamientos, durabilidad del tráfico, capacidad de drenaje, resistencia a la erosión y otros elementos relevantes.
- **Comparación con métodos convencionales:** Los resultados obtenidos mediante la utilización de residuos calcinados de carbón y arena de sílice se contrastan con los obtenidos mediante técnicas típicas para mejorar la subrasante, como la compactación del suelo o la estabilización química o mecánica.
- Se realiza un análisis costo-beneficio para evaluar los costos asociados a la incorporación de estos materiales, frente a los beneficios obtenidos en términos de mejoras en las calidades del suelo, durabilidad del pavimento, menor mantenimiento e impacto ambiental, entre otros aspectos.
- **Síntesis de datos:** Los datos de evaluación se combinan para evaluar la eficacia y viabilidad de utilizar residuos calcinados de carbón y arena de sílice para mejorar la subrasante. Esto implica el proceso de discernir los beneficios, limitaciones y sugerencias para la implementación futura en iniciativas.

Es necesaria una evaluación integral para determinar la efectividad del uso de materiales como residuos calcinados de carbón y arena de sílice para mejorar la calidad

de la subrasante. Esta revisión debe incluir el examen de datos tanto experimentales como del mundo real, así como la evaluación de métodos tradicionales y la valoración de la rentabilidad. La idoneidad y trascendencia de la metodología empleada en proyectos de ingeniería civil.

2.2.7 Comportamiento Mecánico de Suelos Mejorados

Los suelos mejorados son suelos que han sido sometidos a procedimientos de mejora geotécnica, y el estudio se centra en el comportamiento mecánico de estos suelos. Estos métodos pueden incluir el uso de materiales como geotextiles, geo-redes, geo-celdas o la aplicación de procedimientos de estabilización química o mecánica utilizando aditivos como cemento, cal, residuos calcinados de carbón, arena de sílice y otras sustancias. El objetivo del aumento del suelo es mejorar su resistencia, estabilidad, capacidad de carga y otras características geotécnicas para cumplir con los requisitos específicos de un proyecto de construcción o ingeniería civil. (Aguilar Zambrano & Cardenas Diego, 2023)

2.2.7.1 Factores que influyen en la resistencia y estabilidad de las subrasantes mejoradas

La composición y propiedades del suelo tienen un impacto sustancial en su capacidad para mejorarse y estabilizarse. Los suelos con composiciones variables, como arcillas, limos, arenas y gravas, poseen características distintas y requieren enfoques específicos para su mejora.

Características de la mejora Mediante el uso de una variedad de materiales, como geotextiles, geo-redes, geo-celdas, cemento, cal, residuos calcinados de carbón, arena de sílice y otros, la subrasante se puede mejorar en términos de sus propiedades físicas y químicas, afectando así su resistencia. y estabilidad. Suelo tratado.

La selección de una técnica de mejora, como compactación, estabilización química o mecánica, rellenos granulares, estrategias de drenaje u otras, afecta

directamente la resistencia y estabilidad de la subrasante. Elegir e implementar la metodología adecuada es esencial para lograr los resultados previstos.

Las condiciones ambientales, incluido el clima, la temperatura, la humedad y el estrés del tráfico, pueden afectar la resistencia y la longevidad de las subrasantes mejoradas. El agua podría potencialmente degradar el suelo tratado, mientras que las fluctuaciones de temperatura pueden afectar sus propiedades mecánicas.

Garantizar la durabilidad y estabilidad a largo plazo de la subrasante mejorada requiere una ejecución precisa del proceso de diseño y construcción. La compactación uniforme, la aplicación precisa de los materiales de refuerzo y el cumplimiento riguroso de las especificaciones del proyecto son factores cruciales en este tema.

Control de calidad: Un programa de control de calidad excepcionalmente efectivo es crucial durante el proceso de mejora para garantizar que se cumplan los requisitos aplicables y que la subrasante mejorada posea la resistencia y estabilidad requeridas para cumplir con las especificaciones del proyecto.

La resistencia y estabilidad de las subrasantes mejoradas están influenciadas por varios elementos, como la composición del suelo, los atributos de los materiales de mejora, los métodos de mejora, los factores ambientales, el diseño y la construcción, y el aseguramiento de la calidad.

2.2.8 Suelo

La arena, por su parte, está compuesta mayormente por partículas de cuarzo y feldespato. Los limos consisten en fragmentos extremadamente finos de cuarzo, mientras que las arcillas presentan partículas en forma de láminas microscópicas y minerales de arcilla submicroscópicas Portillo y Andaluz (2022).



2.2.8.1 Clasificación de suelos

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO son los dos métodos más utilizados para clasificar suelos en ingeniería geotécnica. El SUCS clasifica los suelos en dos categorías principales: granulares, que engloba arenas y gravas, y finos, que comprende arcillas y limos. Esta categorización está determinada por las características de tamaño de partícula y flexibilidad. Estas organizaciones emplean pruebas como análisis granulométrico y límites de Atterberg (incluidos límites de líquido, plástico y contracción) para evaluar las características del suelo y su capacidad para soportar tensiones estructurales.

El Sistema AASHTO, establecido por la Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte, clasifica los suelos según su idoneidad para la construcción de carreteras y pavimentos. Este método clasifica los suelos teniendo en cuenta muchos criterios, incluido el tamaño de las partículas, la plasticidad y la capacidad de carga. La clasificación va desde la clase A-1, que representa suelos granulares de alta calidad, hasta la A-7, que significa suelos finos con capacidad de carga limitada.

Ambas técnicas tienen como objetivo pronosticar el comportamiento del suelo en diversas situaciones, permitiendo a ingenieros y técnicos tomar decisiones informadas para el diseño y la construcción de infraestructuras. La clasificación precisa del suelo garantiza la estabilidad y seguridad de un proyecto, al mismo tiempo que maximiza la eficiencia de los recursos y las operaciones del edificio. Además, la categorización juega un papel crucial en la investigación ambiental y agrícola, ya que establece la capacidad del suelo para retener agua, su idoneidad para el cultivo y su vulnerabilidad a la erosión.

En resumen, la clasificación del suelo es un enfoque meticuloso y especializado que se adapta para abordar los requisitos únicos de cada proyecto. Ofrece datos cruciales para garantizar la longevidad, eficacia y seguridad de la infraestructura pública, así como la producción en zonas agrícolas.. (GAVIDIA, s. f.)

2.2.8.2 Características de los suelos

a) Límite de Atterberg

Los límites de Atterberg son características fundamentales utilizadas para delimitar suelos de grano fino, específicamente limos y arcillas. El comportamiento de estos suelos se puede evaluar analizando su contenido de humedad. Las cualidades del suelo se clasifican en varios grupos según su contenido de humedad, incluidos los estados sólido, semisólido, plástico y líquido. Las categorizaciones fueron formuladas por el ingeniero sueco Albert Atterberg en 1911. Los límites de Atterberg son cruciales para evaluar la plasticidad, adhesión y trabajabilidad del suelo, que son factores vitales en proyectos de ingeniería civil y geotécnica.

Actualmente, la cohesividad del suelo es extremadamente baja, lo que resulta en su incapacidad para soportar peso adecuadamente y exhibe propiedades similares a las de un líquido. La determinación se realiza sometiendo el suelo a una prueba mediante un dispositivo conocido como "copa Casagrande". Este instrumento mide el límite líquido del suelo aplicando una cantidad específica de energía.

El límite plástico es el punto en el que el suelo cambia de un estado plástico a uno semisólido. Durante esta fase, el suelo conserva su capacidad de moldearse sin romperse, pero comienza a mostrar resistencia al movimiento. El umbral máximo se determina en un entorno de laboratorio controlado, moldeando el suelo en finas hebras con un diámetro de 3 mm, garantizando al mismo tiempo que no se produzcan fracturas. El índice de plasticidad (PI) es una métrica numérica que cuantifica la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico del suelo. La declaración cuantifica en qué medida el suelo exhibe propiedades plásticas.

El límite de contracción se refiere al umbral preciso en el que el suelo sufre una transformación de un estado parcialmente sólido a un estado completamente sólido. Actualmente, una reducción adicional del agua ya no provoca alteraciones sustanciales en el volumen del suelo, lo que significa que ha alcanzado su nivel máximo de contracción.



Este estudio es esencial para predecir con precisión la estabilidad volumétrica del suelo y evaluar su vulnerabilidad a la fractura durante el secado.

Los límites de Atterberg son cruciales para evaluar la capacidad de un suelo para absorber cargas, distorsionarse y permanecer estable en diferentes condiciones de humedad. Estas restricciones son cruciales en la categorización y disposición de proyectos de construcción, ya que ayudan a anticipar problemas como la expansión o contracción del suelo, licuefacción e inestabilidad en taludes y cimientos. La investigación geotécnica desempeña un papel vital en varios campos, como el desarrollo de infraestructuras viarias y la exploración de técnicas para el refuerzo del suelo. Esto garantiza la durabilidad y protección duradera de la infraestructura.

b) Contenido de humedad

El contenido de humedad de los suelos es una característica vital que se utiliza para la evaluación y examen del suelo. El instrumento mide el contenido de humedad en el suelo comparando su masa con la masa del suelo cuando está absolutamente desprovisto de humedad. El parámetro conocido como contenido de agua o relación de humedad es crucial.

El proceso de secado continúa hasta alcanzar una condición de equilibrio en términos de peso. El contenido de humedad se mide como porcentaje, que se calcula dividiendo el peso del agua de la muestra por el peso del suelo después de haber sido deshidratado. Esta medida proporciona una evaluación precisa de la capacidad del suelo para retener la humedad y su reacción ante diferentes presiones o condiciones climáticas.

El contenido de humedad del suelo tiene un impacto directo en varias cualidades del suelo. La ingeniería geotécnica se centra en estudiar la capacidad del suelo para resistir esfuerzos cortantes y soportar cargas. Es de suma importancia garantizar la estabilidad de cimentaciones, taludes y estructuras. Los suelos con un contenido sustancial de humedad pueden volverse más maleables o incluso pasar a un estado líquido. Esta disminución de

su resistencia podría provocar problemas como deslizamiento o asentamiento. Por otro lado, un suelo con un bajo contenido de humedad puede demostrar una mayor estabilidad. Sin embargo, también puede provocar problemas como contracción, agrietamiento y disminución de la cohesión.

El contenido de humedad en la agricultura es un factor crítico para evaluar la capacidad del suelo para retener agua, lo que posteriormente afecta su idoneidad para el cultivo de determinadas especies de plantas. Este parámetro es de gran importancia en el campo de la ingeniería. El crecimiento óptimo de los cultivos se ve facilitado por los suelos húmedos, pero los suelos demasiado secos o anegados dificultan el desarrollo de las raíces y afectan negativamente el rendimiento agrícola.

El control eficaz y la comprensión de los niveles de humedad son cruciales en proyectos de construcción, investigaciones de suelos y prácticas agrícolas. Una evaluación exhaustiva de esto permite sacar conclusiones fundamentadas sobre la gestión de la tierra, la resiliencia de la infraestructura y la eficacia de las actividades agrícolas.

c) Granulometría

La granulometría es una técnica crucial utilizada para evaluar las características de suelos y materiales granulares. Permite evaluar la distribución y el tamaño de las partículas que componen estos materiales. Este enfoque implica categorizar las partículas según su tamaño, desde las más grandes, como la grava, hasta las más pequeñas, como el limo y la arcilla. El análisis granulométrico es un aspecto crucial de la ingeniería civil, la geotecnia y la construcción, ya que tiene un impacto directo en las características mecánicas del suelo, incluida su capacidad de drenaje, estabilidad, resistencia y densidad.

La operación de granulometría se realiza mediante dos técnicas principales: tamizado y sedimentación. El tamizado es un método empleado para separar partículas más grandes, generalmente aquellas con un tamaño superior a 0,075 mm (como arena y grava), mediante la utilización de una secuencia de tamices con diámetros variables. Las



partículas se colocan en una serie de tamices y se agitan vigorosamente, permitiendo que las partículas más pequeñas pasen a través de cada tamiz posterior. Se mide la masa de cada fracción dentro de cada tamiz y se determina el porcentaje de masa retenida.

La técnica de sedimentación, basada en la ley de Stokes, se emplea para el análisis de partículas más finas como limo y arcilla. Este enfoque tiene en cuenta la velocidad a la que las partículas se sedimentan en un fluido. Este enfoque permite determinar la fracción de partículas minúsculas que no son separables eficientemente mediante tamices. La curva granulométrica derivada de estos experimentos ofrece una perspectiva distinta de la distribución de partículas en el suelo, facilitando su clasificación en varias categorías en función de su granulometría.

La granulometría juega un papel crucial en la clasificación del suelo utilizando metodologías como el Sistema Unificado de Categorización de Suelos (SUCS) y AASHTO. Estos métodos clasifican los suelos según su distribución de partículas y características de plasticidad. Un suelo con una composición bien graduada, que sugiere una amplia gama de tamaños de partículas, generalmente demuestra una mayor estabilidad y densidad. Por otro lado, un suelo que carece de una nivelación adecuada, lo que significa que las partículas son similares en tamaño, puede tener menos estabilidad y ser más propenso a la erosión y otros problemas asociados al suelo. Comunidades establecidas.

En resumen, la granulometría es un método crucial para analizar la distribución de tamaños de partículas en suelos y materiales granulares. Los ingenieros pueden utilizarlo para evaluar su rendimiento en diversas situaciones y determinar su idoneidad para determinadas aplicaciones. El análisis granulométrico es crucial para garantizar la estabilidad y eficacia de la construcción de infraestructuras, independientemente de si se trata de la planificación de pavimentos, cimentaciones, terraplenes o sistemas de drenaje.

d) Capacidad de soporte



La capacidad de carga, un concepto clave en ingeniería geotécnica, se refiere a la carga máxima que un suelo puede soportar sin experimentar fallas, como asentamientos excesivos o colapso. La propiedad mencionada es esencial en el diseño de cimientos, ya que determina el tipo y las proporciones precisas del edificio que un suelo puede soportar de manera segura. La evaluación precisa de la capacidad de carga nos permite garantizar la seguridad y durabilidad de edificios, puentes, carreteras y otras infraestructuras.

La capacidad de carga del suelo está determinada por varios factores, incluida su composición, estructura, nivel de compactación, nivel freático y la cantidad de peso aplicado. Las arcillas y otros suelos cohesivos tienen suficiente capacidad de carga cuando están secos. Sin embargo, la estabilidad de estos objetos puede disminuir considerablemente cuando se saturan completamente con agua. Por otro lado, los suelos granulares como arena y grava tienen mayor capacidad para soportar cargas pesadas debido a su menor compresibilidad y drenaje eficiente.

La investigación geotécnica implica el análisis de tres tipos específicos de capacidad de carga: capacidad de carga última, capacidad de carga permitida y capacidad de carga neta. La capacidad de carga última del suelo se refiere a la carga más alta que el suelo puede soportar sin sufrir fallas. Por otro lado, la capacidad de carga permitida es la mayor cantidad de peso que se puede aplicar de forma segura, considerando un factor de seguridad. La capacidad de soporte neta sólo tiene en cuenta la carga adicional impuesta por los cimientos sobre el suelo, sin incluir el peso del suelo mismo.

Para evaluar la capacidad del suelo para soportar cargas se utilizan varios métodos, incluida la prueba de penetración estándar (SPT), la prueba de placa de carga y las ecuaciones ideadas por Terzaghi, Meyerhof y Hansen. Estas metodologías permiten a los ingenieros obtener datos precisos que guían su proceso de toma de decisiones para el diseño de cimientos. Ayudan a evaluar la profundidad necesaria, determinar si es necesaria una cimentación poco profunda o profunda e identificar medidas correctivas para suelos con capacidad de carga insuficiente.

Realizar un análisis de la capacidad de carga es crucial para evitar fallas estructurales y maximizar la rentabilidad y la asignación de recursos. Los suelos que tienen una capacidad restringida para soportar peso pueden necesitar técnicas de alteración del suelo, como compactación, adición de materiales estabilizadores o el uso de tecnologías de cimentación profunda como pilotes.

La capacidad de soporte es crucial a la hora de evaluar la estabilidad de un sistema. Una evaluación precisa y adecuada de este valor garantiza la confiabilidad y eficacia de la infraestructura civil, permitiendo que se adapte efectivamente a las propiedades geotécnicas del suelo subyacente.

Según (Ramírez Malla, 2020), la Capacidad de Soporte (CBR) se refiere al índice que evalúa la resistencia del firme de una subrasante ante las deformaciones causadas mediante métodos mecánicos combinados con enfoques químicos, ya sean naturales o sintéticos.

2.3 Marco conceptual

a. Arena de sílice:

La arena de sílice está compuesta predominantemente de partículas de sílice, que son una combinación de minerales que incluye átomos de silicio y oxígeno. Esta sustancia es ampliamente utilizada en diversos sectores industriales y comerciales debido a su alto nivel de pureza y dureza, así como a sus propiedades físicas y químicas únicas. La arena de sílice se emplea en la fabricación de vidrio, cerámica, abrasivos, filtros de agua, materiales de fundición, productos químicos y en aplicaciones de fracturación hidráulica en la industria petrolera, entre otros usos. (Joya Campos, 2020)

b. Contenido de humedad:

El contenido de humedad se refiere a la proporción de agua presente en el suelo en relación con su peso después de un secado completo. A menudo se representa como un porcentaje. Este parámetro es crucial en el campo de la geotecnia ya que tiene un impacto directo es vital para el diseño de cimientos y proyectos de ingeniería civil. Machaca & Yucra, (2022).

c. CBR:

La relación de carga de California (CBR) es una prueba estandarizada que se utiliza para evaluar la capacidad de carga del suelo examinando su resistencia a la penetración en circunstancias controladas. El índice designado tiene una importancia significativa en el contexto del diseño de adoquines para carreteras y pistas. Esto permite clasificar suelos y materiales granulares en función de su capacidad para resistir y soportar cargas. A medida que aumenta el valor de CBR, el suelo o elemento que se está probando exhibe niveles más altos de resistencia. Pacuy (2022).

d. Carbón mineral:

El carbón mineral es un tipo de combustible fósil que se deriva de la descomposición y compresión gradual de material vegetal orgánico durante un período prolongado de tiempo. Es una fuente de energía que no se puede reponer y se utiliza principalmente para generar energía, proporcionar calor y producir acero. El carbón mineral se clasifica en muchas categorías según su contenido de carbono, contenido de humedad, contenido de azufre y otros niveles de constituyentes. El carbón existe en varias formas diferentes, incluidas la antracita, el carbón bituminoso, el lignito y el coque. A pesar de su uso global generalizado como fuente de energía, existe una creciente preocupación sobre su viabilidad a largo plazo debido a sus importantes consecuencias ambientales, particularmente

en relación con las emisiones de dióxido de carbono y la contaminación del aire.

(Pérez & Fernando, 2016)

e. Ceniza:

Ceniza, en su sentido preciso, denota el residuo inorgánico que queda tras la quema de una sustancia, como carbón, madera o biomasa. Esta sustancia particulada comprende minerales y se utiliza en varias industrias, como la agricultura y la construcción. Se incluye en mezclas de hormigón o se emplea como estabilizador de suelos. La ceniza, cuando está presente en determinadas cantidades, puede afectar las características físicas y químicas de los suelos y materiales con los que se combina. Chacón (2020).

f. Subrasante:

La subrasante se refiere a la capa subyacente de suelo natural o compactado que se encuentra debajo de la construcción del pavimento. El objetivo de este artículo es soportar el peso y la presión que ejercen las capas colocadas encima. Garantizar una capacidad de carga y una estabilidad suficientes de esta capa es crucial, ya que de ello dependen la longevidad y la eficiencia de la carretera o la vía. La evaluación de la calidad de la subrasante depende de su compactación, drenaje y resistencia, los cuales determinan la idoneidad de los materiales y métodos de construcción a emplear. Araujo y Urbano (2020)

g. Suelo:

El suelo se refiere a la capa superior de la corteza terrestre, que está formada por minerales, materiales orgánicos, agua y aire. El suelo, en el contexto del análisis geotécnico, es un conjunto de partículas sólidas que poseen ciertas características físicas y mecánicas, que se diferencian en función de su composición y distribución granulométrica. Los suelos se clasifican según el tamaño de sus partículas (arcilla,



limo, arena y grava), así como según sus propiedades de plasticidad y cohesividad.

Estos factores determinan la idoneidad de estos materiales para diversos usos en los campos de la ingeniería, la agricultura y la construcción. Araujo y Urbano (2020)



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación abarca las técnicas, estrategias y herramientas sistemáticas, bien organizadas y rigurosas empleadas para realizar un estudio. Esta técnica ofrece un marco teórico y práctico que dirige el proceso de investigación, comenzando con el desarrollo del tema de investigación y terminando con el análisis y comprensión de los datos recopilados. Este proceso implica la cuidadosa selección e implementación de estrategias para recopilar y analizar datos, establecer muestras y experimentos, desarrollar herramientas para la recopilación de datos y evaluar la precisión y confiabilidad de los resultados. Serrano, (2020)

3.1 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es un plan o marco metódico desarrollado para llevar a cabo una investigación científica con el propósito de abordar un tema de investigación o probar una hipótesis. La recogida y el análisis de datos requieren una cuidadosa selección y organización de la metodología, las herramientas y los procedimientos para construir un enfoque sistemático y riguroso. Un diseño de investigación eficaz debe ser inequívoco, lógico y suficiente para abordar la pregunta de investigación, garantizando así la exactitud y fiabilidad de las conclusiones resultantes. (Iglesias, 2021)

Se llevó a cabo un intrincado diseño experimental que abarcaba una secuencia de exhaustivos experimentos de laboratorio. El objetivo principal de este estudio era modificar una variable clave: la inclusión de proporciones variables de residuos calcinados de carbón y arena de sílice en el suelo de la subrasante. A lo largo del periodo experimental, se llevó a cabo una evaluación exhaustiva para examinar el impacto de estas modificaciones en la composición del suelo. El objetivo de esta investigación era evaluar su influencia en varios factores y características significativos.

3.2 Métodos de la investigación

El método de investigación científico es un proceso sistemático y lógico utilizado para adquirir conocimiento a través de la observación, la experimentación y el análisis. Este método implica formular una hipótesis, diseñar y realizar experimentos para probarla, recopilar y analizar datos, y finalmente, llegar a una conclusión que confirme o refute la hipótesis. Es fundamental en la ciencia porque asegura que los resultados sean reproducibles y verificables, garantizando así la objetividad y la precisión en la investigación. (Hadi et al., 2023).

3.3 Nivel y tipo de investigación

3.3.1 Tipo de la investigación

La investigación aplicada es una técnica metódica que se centra en resolver problemas prácticos o cumplir requisitos específicos en un contexto de la vida real. El objetivo principal es aplicar los descubrimientos de la investigación para resolver dificultades concretas en diversos ámbitos, como la tecnología, la medicina, la educación o la ingeniería, entre otros. Este estudio destaca por su énfasis en la aplicación y su importancia práctica, con el objetivo de generar soluciones tangibles que puedan tener un impacto beneficioso en la sociedad o en el campo específico en el que se lleva a cabo. (Pimienta et al., 2018)



3.3.2 Nivel de la investigación

El nivel explicativo de la explicación se refiere al grado en que una investigación o teoría trata de comprender las relaciones causales entre variables y acontecimientos. El principal objetivo en esta fase es dilucidar la presencia de determinados incidentes o acontecimientos identificando las razones subyacentes y los mecanismos responsables de su formación. En el ámbito de la investigación científica, el nivel explicativo va más allá de la mera descripción de los fenómenos observados y trata de comprender las relaciones causales entre ellos. Este proceso implica el desarrollo de marcos teóricos, la creación de hipótesis causales y la realización de pruebas o investigaciones para confirmar dichas hipótesis. (Reyes, 2022).

3.4 Población y muestra de la investigación

3.4.1 Población

En el ámbito de la investigación, la expresión "población" se refiere al conjunto de individuos, cosas o sucesos que tienen un rasgo similar y sirven como objeto principal del estudio. Esta idea es crucial en la investigación, ya que ayuda a delimitar con precisión el alcance y el valor de los hallazgos. La población de estudio se refiere al grupo específico de individuos sobre el que el investigador pretende extraer conclusiones o generalizar. (Iglesias, 2021)

3.4.2 Muestra

Una muestra se refiere a una porción más pequeña de un material o población, elegida y extraída deliberadamente, que se utiliza con fines de investigación y estudio. El objetivo principal es recopilar datos sobre las características, atributos o comportamientos de toda la colección. Al participar en ingeniería, investigación o análisis estadístico, es esencial elegir cuidadosamente las muestras para garantizar que los hallazgos puedan aplicarse a toda la población o grupo que se estudia. En el ámbito de la investigación de suelos, una muestra permite evaluar características como resistividad, granulometría y

contenido de humedad. Esta evaluación ofrece datos vitales para la estrategia de proyectos y los procedimientos de toma de decisiones. (Castillo et al., 2014)

Tabla 2

Número de muestras ensayadas

Descripción	IP	Grado Compactación	CBR
S-N	3	3	3
S+ 5% de CM+AS	3	3	3
S+ 10% de CM+AS	3	3	3
S+ 15% de CM+AS	3	3	3
TOTAL	12	12	12

3.5 Técnicas e instrumentos

3.5.1 Técnicas

Las técnicas se refieren a enfoques o procedimientos sistemáticos empleados para realizar tareas, resolver problemas o alcanzar objetivos específicos mediante la utilización de información, herramientas y habilidades. Continuamente se inventan y mejoran métodos en varios dominios, incluidos la ciencia, la ingeniería, las artes y la educación, con el objetivo de optimizar los procesos y lograr resultados superiores. Una estrategia eficaz implica la implementación de una técnica metódica y replicable, que garantice resultados consistentes y confiables. Además, es fundamental poseer experiencia en determinadas metodologías para especializarse en un campo o esfuerzo en particular, garantizando precisión y eficacia en su implementación. Medina et al., (2023).

3.5.2 Instrumentos

Los instrumentos son dispositivos o herramientas altamente especializados diseñados expresamente para realizar mediciones exactas, realizar determinadas tareas o ayudar en la recopilación de datos en muchos campos de estudio y vocaciones. En los ámbitos de la investigación y la ingeniería, se emplean instrumentos para obtener datos precisos y cuantificables. Ejemplos de dichos equipos incluyen termómetros, básculas y sismógrafos. En el ámbito de la música, los instrumentos son aparatos mecánicos o eléctricos que crean vibraciones audibles y, por tanto, producen sonido. Dos ejemplos de tales instrumentos musicales incluyen la guitarra y el piano. En el ámbito de la investigación académica, las herramientas se refieren a cuestionarios, encuestas y pruebas especialmente diseñadas para recopilar datos sobre fenómenos sociales o psicológicos. La precisión y confiabilidad de un instrumento son vitales para garantizar que los hallazgos generados sean precisos y adecuados dentro de su contexto particular. Medina et al., (2023).

3.6 Validación y confiabilidad del instrumento

3.6.1 Validación de los instrumentos

La validación de instrumentos es la evaluación sistemática de una herramienta de medición o recopilación de datos para establecer su precisión, confiabilidad y usabilidad. Este proceso asegura la precisión del instrumento al evaluar su objetivo previsto y garantiza que los resultados resultantes sean confiables y puedan duplicarse. Es esencial verificar la idoneidad y precisión de los instrumentos, como cuestionarios, encuestas o equipos de medición, tanto en contextos prácticos como de investigación. La validación abarca la evaluación de la validez de contenido, la validez de constructo, la validez de criterio y la confiabilidad de un instrumento a lo largo del tiempo. El objetivo es garantizar que los resultados producidos reflejen exactamente la realidad observada. Una validación

precisa es crucial para garantizar que los hallazgos y juicios derivados de los datos recopilados sean científicamente correctos y confiables. Medina et al., (2023).

3.6.2 Confiabilidad de instrumentos

La confiabilidad del instrumento se refiere a la uniformidad y confiabilidad de un dispositivo de medición para generar resultados comparables cuando se somete a las mismas circunstancias. La precisión del instrumento se evidencia por su generación consistente de datos coherentes, que exhiben fluctuaciones insignificantes, cuando se utiliza regularmente en el mismo contexto y bajo condiciones idénticas. La confiabilidad se evalúa utilizando muchos enfoques, incluida la consistencia interna (medida por el alfa de Cronbach), prueba-reprueba y confiabilidad interobservador. Una herramienta confiable es crucial en la investigación científica, ya que garantiza la capacidad de replicar los hallazgos y reduce la posibilidad de errores estocásticos en los datos recopilados. Es fundamental garantizar la autenticidad y honestidad de los resultados ofrecidos. Medina et al., (2023).

3.7 Procedimiento de recolección de datos

Los procesos de recopilación de datos son un conjunto de métodos y tácticas sistemáticos que se utilizan para obtener datos relevantes para un estudio o investigación. El objetivo es garantizar que los datos sean precisos, representativos y útiles para abordar las preguntas de la investigación. La técnica utilizada en un estudio puede variar según el tema particular y la naturaleza de la investigación que se lleva a cabo. Los enfoques pueden incluir encuestas, entrevistas, observación directa, análisis documental, experimentos o evaluaciones estandarizadas. La selección de una metodología adecuada depende de los objetivos del estudio, los atributos de las variables a evaluar y los recursos disponibles, todo con el objetivo de obtener datos precisos y confiables.

Para garantizar la exactitud de los datos recopilados, es fundamental establecer estándares claros y exactos que ofrezcan dirección para el proceso de recopilación de datos, evitando así posibles sesgos o errores que puedan afectar los resultados. Estos procedimientos implican definir claramente los métodos para recolectar muestras, instalar el equipo necesario, capacitar a las personas relevantes y organizar aspectos logísticos importantes. La implementación precisa de los procedimientos de recopilación de datos es esencial para garantizar que los datos obtenidos sean relevantes y significativos para el análisis, la interpretación y la toma de decisiones en cualquier esfuerzo de investigación o intervención.

3.7.1 Procedimiento

Selección de calicatas

El proceso de elección de excavaciones es un elemento crucial de la investigación geotécnica. El procedimiento implica determinar los sitios exactos para las excavaciones exploratorias con el fin de obtener muestras de suelo precisas que reflejen con precisión las características del terreno. Estas excavaciones permiten evaluar las propiedades físicas, mecánicas y estratigráficas del suelo, como su capacidad para soportar peso, densidad, capacidad para permitir el paso de fluidos y composición. La elección de la ubicación de los tajos se establece estratégicamente considerando criterios como la diversidad geológica del terreno, la presencia de edificaciones preexistentes, la topografía del terreno y la distribución de cargas esperadas en el proyecto de construcción.

Antes de elegir los sitios de excavación, se lleva a cabo una evaluación inicial del terreno mediante estudios topográficos y geofísicos para identificar áreas con problemas potenciales que puedan requerir un examen más detallado. Es esencial organizar las excavaciones de manera que proporcionen una comprensión integral de las condiciones subterráneas en toda la región de investigación. Además, es importante tener en cuenta la escala y el volumen de las excavaciones necesarias para obtener una muestra adecuada, a fin de evitar subestimar los peligros geotécnicos potenciales. Al seleccionar y ubicar los

pozos de manera inteligente, se puede garantizar que los datos recopilados representen con precisión la región, facilitando así el proceso de construcción de cimientos y la toma de decisiones bien informadas durante todo el diseño y la construcción del proyecto.

Figura 1

Lugar de ubicación de las cali.

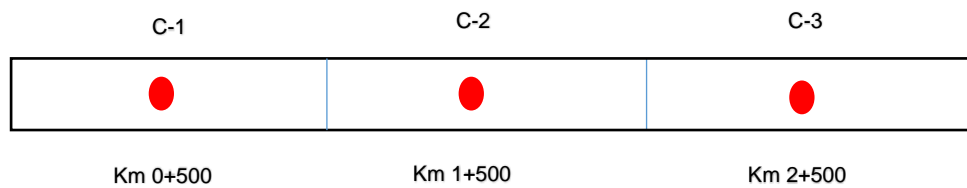


Tabla 3

Detalles sobre las calicatas

Tramo	Km	Calicata	Margen
0+000 – 1+000	0+500	1	Derecho
1+000 – 2+000	1+500	2	Izquierdo
2+000 – 3+000	2+500	3	Derecho

Figura 4*Emplazamiento de C-3***Toma de muestra del material**

Método:

- El material se recolectó en lugares específicos determinados por el diseño de la investigación utilizando una pala, asegurando que las condiciones del terreno estuvieran representadas con precisión.
- Cada bolsa sellada fue etiquetada adecuadamente con un identificador secuencial, indicando información importante como el lugar exacto de muestreo y la hora de recolección.

Este método garantiza la recolección de muestras excelentes y representativas, esenciales para realizar análisis precisos basados en la caracterización del material recolectado durante la investigación.

Obtención de residuos calcinados de carbón mineral y la arena de sílice



El primer paso para obtener los materiales para nuestra investigación fue recolectar residuos de carbón calcinado y arena de sílice. Se subrayó la importancia de lograr una sequedad completa, ya que es un factor crítico para el éxito de la cirugía posterior.

Herramientas y recursos utilizados:

- Proceso de secado, asegurando la eliminación completa de la humedad antes de pasar a la siguiente fase. Este procedimiento es fundamental para adquirir residuos calcinados y prevenir la aparición de humedad.
- Las cenizas resultantes de la combustión se recogieron y almacenaron en un ambiente meticulosamente controlado. Este resultado final es el material que se utilizará en la investigación.
- que involucraron el uso de instrumentos especializados para manipular de manera segura la basura calcinada.

3.7.2 Ensayos en laboratorio

a. Contenido de humedad:

Procedimiento:

- Se selecciona una muestra representativa que refleje con precisión la composición general de los agregados. Para obtener resultados precisos y completos, es necesario un proceso de selección minucioso y cuidadoso.
- La muestra se coloca dentro de un horno precalentado a una temperatura de 110 ± 5 °C. A lo largo de este procedimiento, el horno elimina sistemáticamente la humedad contenida en la muestra, permitiendo su evaporación regulada. Tras el procedimiento de secado.

Figura 5*Ensayo de densidad de suelos***b. Ensayo de límites de consistencia:****Procedimiento LP:**

- Se transforma manualmente en una forma cilíndrica. • Se examina minuciosamente la capacidad del cilindro para resistir el colapso y alcanzar un diámetro de 3,2 mm.

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

Procedimiento LL:

- La cosa se coloca cuidadosamente sobre una bandeja de losa. Posteriormente se inicia el proceso de amalgamación progresiva cuantificando con precisión de 0,015 a 0,020 litros de fluido destilado. La fase inicial es fundamental para lograr una mezcla uniforme.



- La humedad se introduce de forma deliberada y constante de forma regulada. Emplear este método es esencial para evitar discrepancias en la fusión y garantizar la precisión en la determinación de los límites líquidos. Una vez finalizado el procedimiento de mezcla, una parte se transfiere meticulosamente a la cacerola. El posicionamiento preciso sobre la base es crucial para obtener una compactación consistente. La mezcla se compacta y nivela meticulosamente con una espátula.
- La mezcla se nivela cuidadosamente mediante un procedimiento de nivelación preciso hasta alcanzar un espesor máximo de 1 cm en el punto más alto de la muestra. La precisión de los resultados depende en gran medida de la coherencia de los datos.
- La mezcla se aplica cuidadosa y estratégicamente a la copa de bronce mediante movimientos intencionales con la ranuradora. Este enfoque garantiza la disposición sistemática de la muestra para el siguiente paso de prueba.
- Se accede al contenedor manipulando la palanca, lo que hace que gire a una velocidad de dos gotas por segundo. Esta acción mejora la interacción entre dos componentes de la mezcla dentro de la cavidad base, lo cual es crucial para una evaluación precisa de los límites líquidos.
- El recuento exacto de golpes necesarios para sellar la ranura está meticulosamente documentado, con una distancia estimada de unos 13 mm. Estos datos son cruciales para identificar con precisión los límites líquidos del suelo.
- Los datos se registran meticulosamente y se calcula el contenido de humedad, lo que proporciona información vital sobre las propiedades del agua del suelo.

Figura 6

Preparación de muestras



c. Ensayo de análisis granulométrico:

Procedimiento:

- La evaluación granulométrica comienza considerando las propiedades del material a tamizar, asignando un mayor peso a los suelos gruesos y un menor peso a los suelos finos.

Figura 7

Tamizado de muestras



d. Proctor modificado:**Figura 8***Ensayo de Proctor***Procedimiento:**

- Se elige una muestra estándar que pesa entre 2,5 kg y 3 kg, asegurándose de que esté completamente libre de humedad.
- La muestra se somete a un proceso de cribado para excluir partículas más grandes que el tamiz número 4. Luego se combina gradualmente con agua, hasta obtener una muestra ligeramente húmeda.

e. CBR:**Procedimiento:**

- Se elige una muestra típica que pesa aproximadamente 5,5 kg en su estado seco. El material es sometido a un proceso de cribado mediante tamices con orificios de $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ " y No. 4.



- Se recopilan y registran los valores de Proctor, incluidos los valores de MDS y OCH. Se calcula el peso del molde y de la base.
- Las probetas se comprimen dentro del molde, controlando el nivel de humedad para conseguir una humedad óptima. Cada capa sufre 12, 25 y 56 trazos, respectivamente.
- Se retira el collar y la muestra comprimida se vuelve uniforme. Se separa el molde de la base, se registra el peso y se coloca la placa perforada con el vástago.
- El peso de los moldes que contienen la muestra saturada se mide después de eliminar el líquido.
- Las muestras se penetran inmediatamente después de pesarlas e insertarlas en el aparato de penetración para minimizar cualquier intervalo de tiempo. Esto se hace para minimizar cualquier interrupción innecesaria en la operación.
- Los valores de carga se recopilan sistemáticamente en muchos puntos de penetración, con énfasis específico en las mediciones tomadas a 0,1" y 0,2". Los datos precisos son cruciales para evaluar la capacidad de carga relativa del suelo.
- Los moldes se separan del equipo CBR implementando el método antes mencionado. Posteriormente, se recupera una muestra del material de las proximidades del lugar de punción. • Finalmente, se documenta el peso de la muestra y se calcula el contenido de humedad. Agregar estos datos adicionales es esencial para una evaluación exhaustiva de las propiedades del suelo en relación con su capacidad para soportar peso.



3.8 Procesamiento y análisis de datos

Actualmente, nuestro principal objetivo es transformar datos en información significativa mediante el uso de metodologías especializadas. Para extraer información valiosa de datos no procesados, es fundamental utilizar metodologías eficientes. Para optimizar la eficacia de la operación, realizamos exámenes para estudiar meticulosamente la fiabilidad y precisión de los datos recopilados.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 *Presentación y análisis de resultados*

Se examinan los efectos de la incorporación del carbón mineral + arena de sílice en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca, en porcentajes de 5%, 10% y 15% sobre el suelo. Se destaca que durante el estudio se busca los porcentajes ideales de la incorporación de estos materiales sobre la subrasante. Los resultados obtenidos son esenciales para lograr comprender el impacto que tendrán la Anexión de residuos calcinados de carbón mineral + arena de sílice sobre todas las propiedades del suelo subrasante.

4.1.1 *Propiedades del suelo de la subrasante*

a. *Presencia de humedad*

Tabla 4

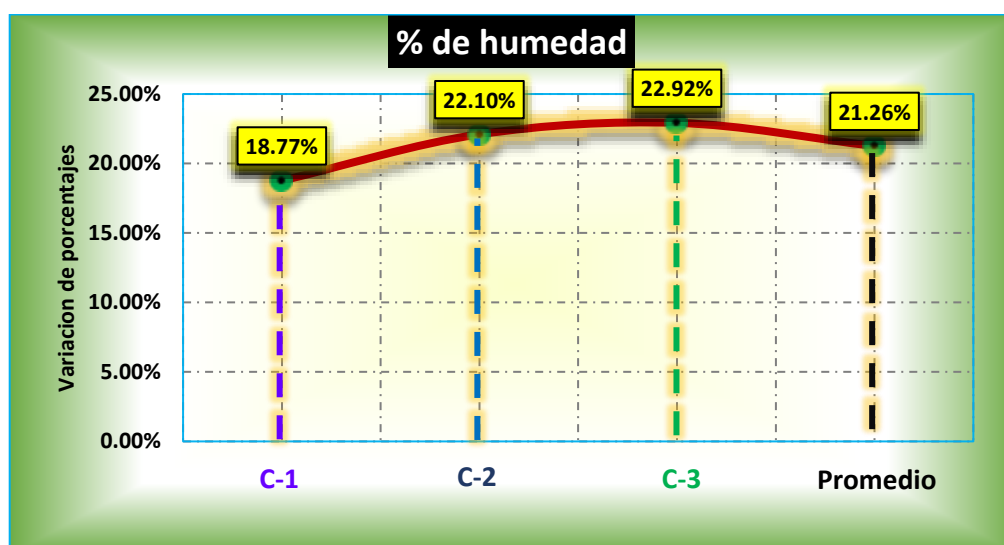
Presen. de humedad de las calicatas

Calicata	(%) Humedad
C_01	18.77
C_02	22.10
C_03	22.92
Promedio	21.26

En la tabla número 4 se logra apreciar de manera muy detallada los datos obtenidos de la cantidad de humedad dentro de las muestras (calicatas 1, 2 y 3) tenemos como un valor más bajo 18.77% de porcentaje de humedad de la calicata número 1, mientras que la más alta fue la calicata número 22.92% de porcentaje de humedad y un promedio de final de 21.26% de contenido de humedad de entre todas las muestras.

Figura 9

Presencia de humedad en las calicatas



Existen huecos en la Avenida Tintaya que proporcionan los valores de humedad relativa del subsuelo. Cavamos hoyos para representar la subrasante y realizamos las pruebas de humedad requeridas como parte del proceso de recopilación de datos de muestra. Calculamos una humedad promedio del 21,26% a partir de las muestras que analizamos.

b. Análisis granulométrico

Figura 10

Análisis granulométrico de calicata 1

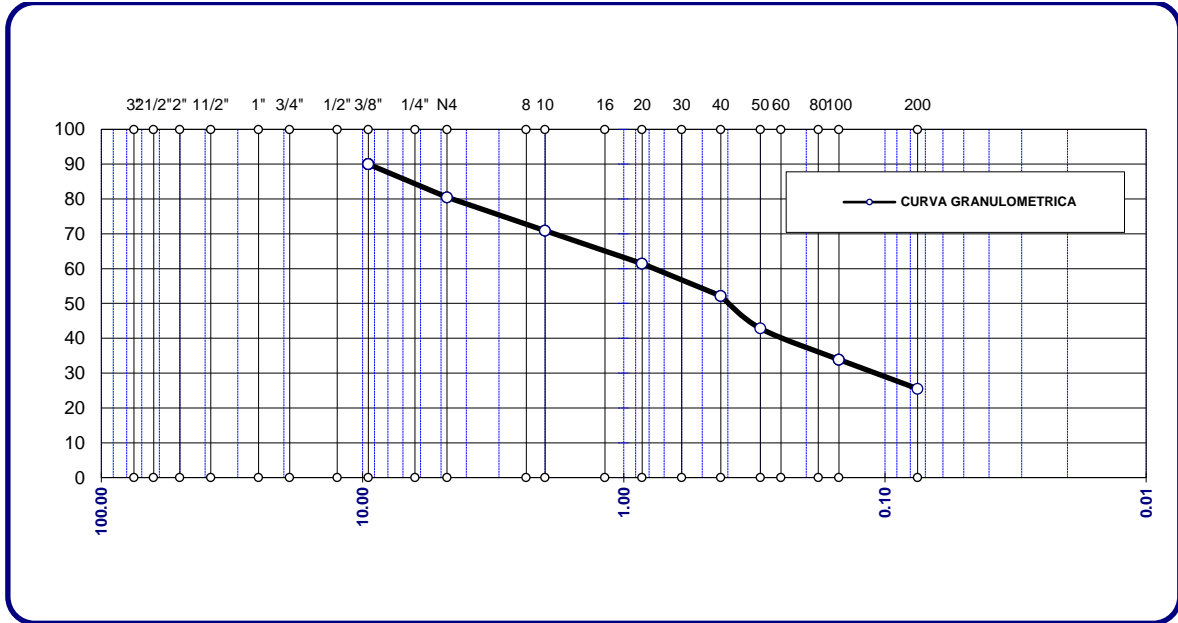


Figura 11

Análisis granulométrico de calicata 2.

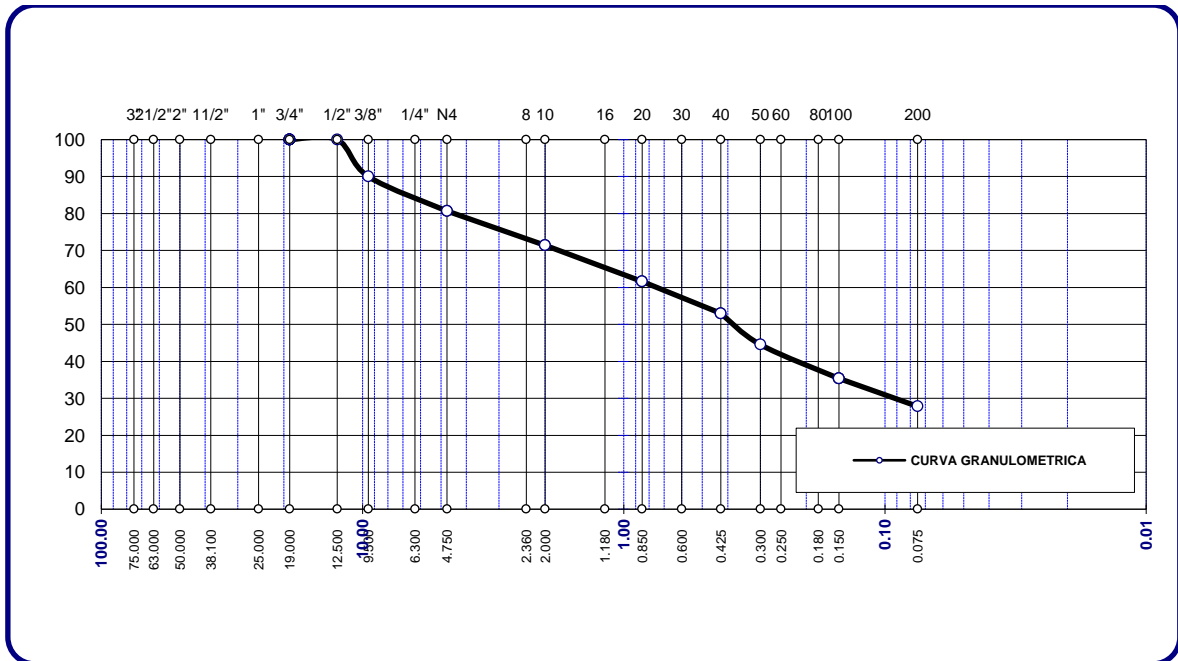
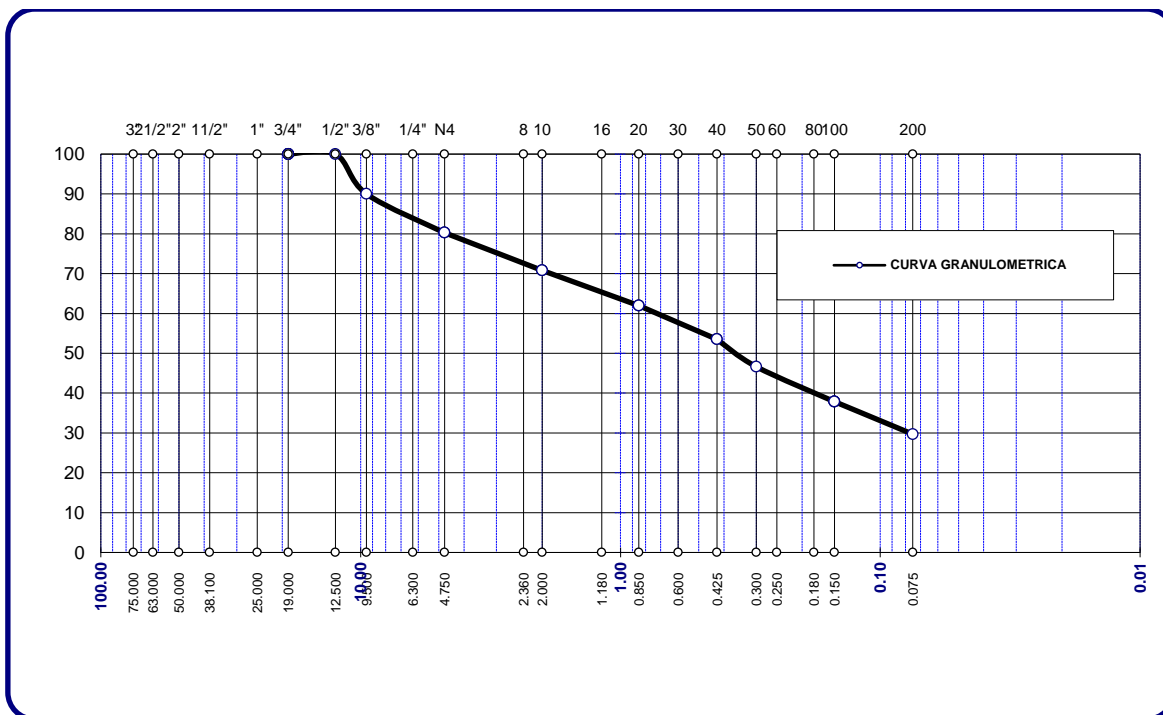


Figura 12

Análisis granulométrico de C-03



c. Índice de plasticidad

Tabla 5

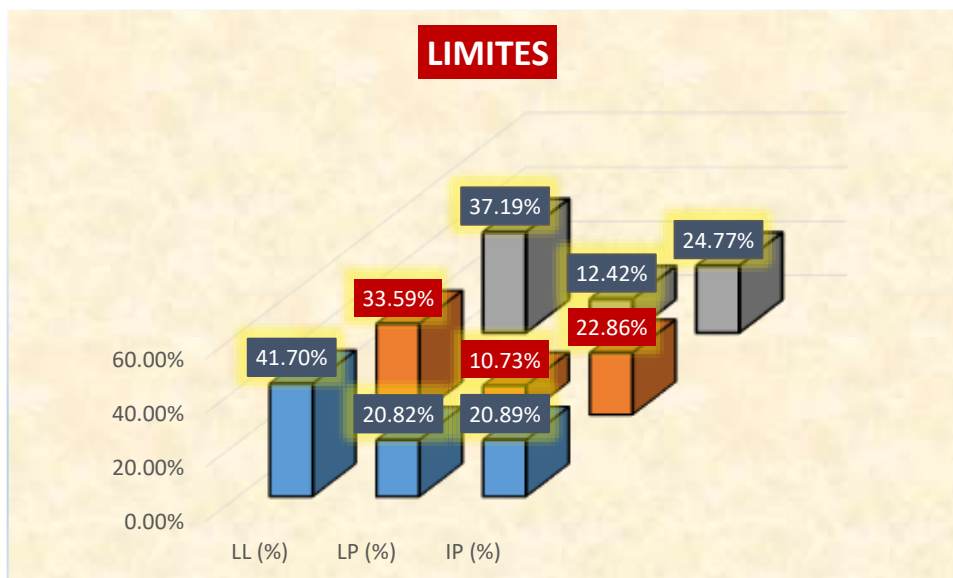
Índice plástico de las muestras- naturales

Calic.	Límites-Subrasante		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C-1	41.70%	20.82%	20.89%
C-2	33.59%	10.73%	22.86%
C-3	37.19%	12.42%	24.77%
Promedio	-	-	22.84%

los límites líquidos de las calicatas excavadas en las zonas nos brindaron los siguientes resultados: calicata 1 = 41.70%, calicata 2 = 33.59% y finalmente 37.19%, mientras que sus límites plásticos son 20.82%, 10.73% y 12.42% la diferencia entre estos será el índice de plasticidad 20.89% para la primera calicata, 22.86% para la calicata 2 y finalmente 24.77% para la calicata número 3.

Figura 13

Coeficiente de plasticidad de los suelos naturales



Esta investigación comparativa se centra en un índice de plasticidad que se ha calculado a partir de muchas calificaciones de pozos de prueba. El índice de plasticidad, que mide la plasticidad promedio del suelo en las localidades estudiadas, muestra un valor promedio estadísticamente significativo de 22,74%.

d. Grado de compactación

Tabla 6

Condición de compactación del suelo de apoyo

Grado de Compactación		
Calicata	MDS (gr/cc)	OCH (%)
Calic. - 1	1.992	7.46
Calic. - 2	2.009	8.42
Calic. - 3	2.017	8.23
Promedio	2.006	8.037

Figura 14

Condición de compactación del suelo de apoyo C-1

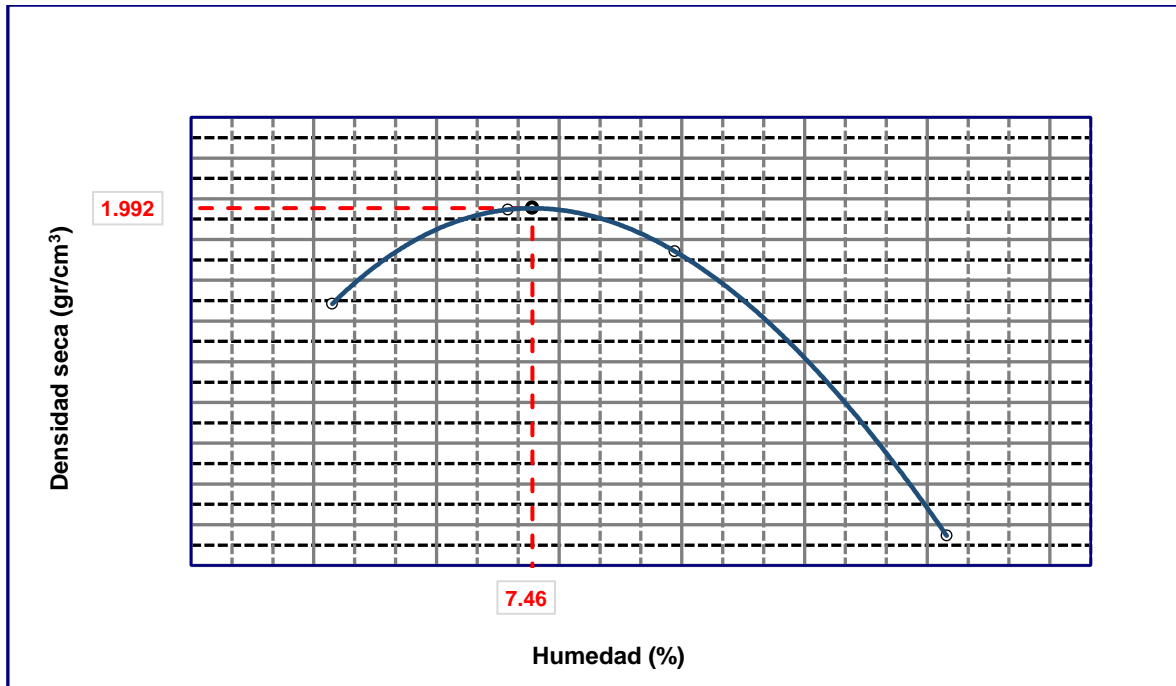


Figura 15

Condición de compactación del suelo de apoyo C-2

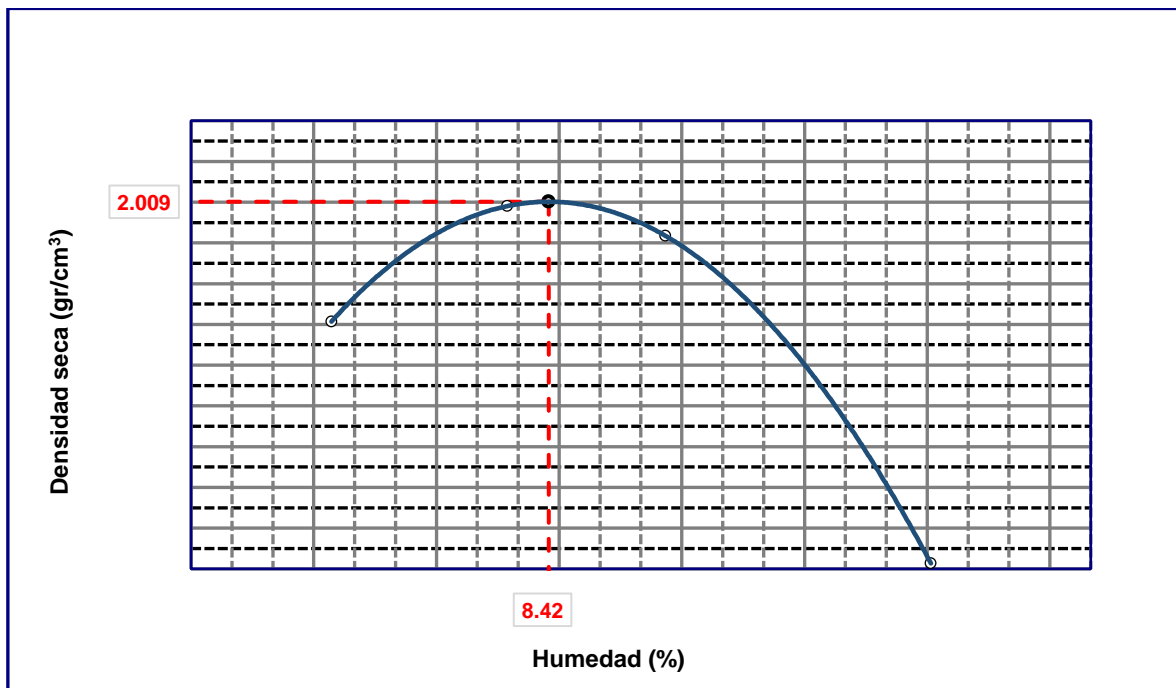


Figura 16

Condición de compactación del suelo de apoyo C-3

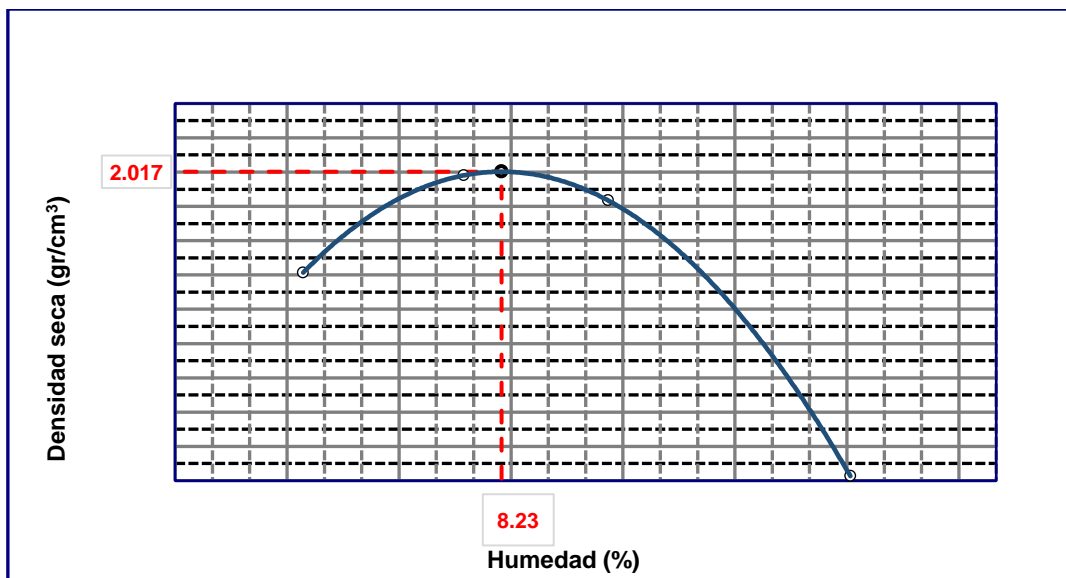
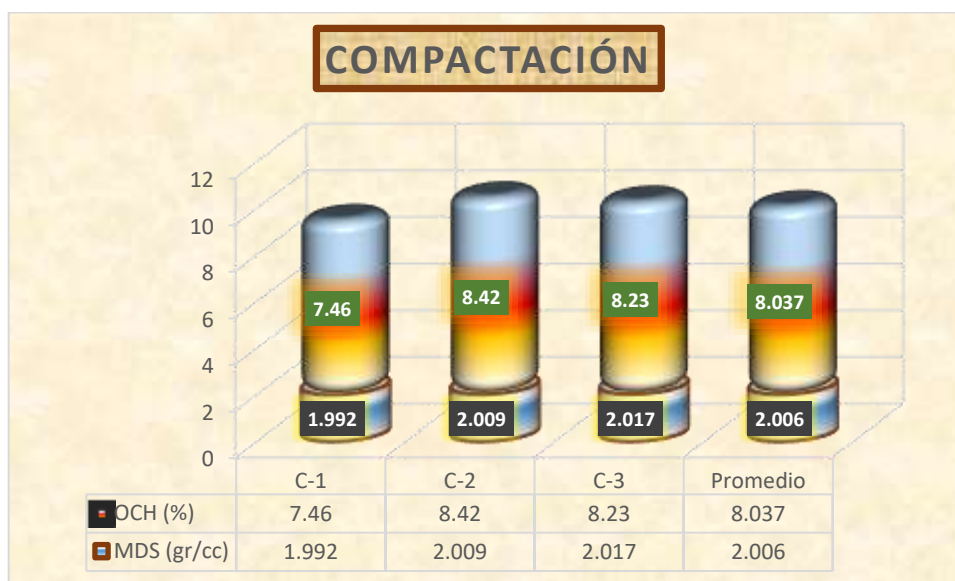


Figura 17

Comparativa del grado de compactación en la subrasante



Las perforaciones documentadas demuestran una diferencia significativa en el nivel de compactación de la subrasante. Las estadísticas mostraron un índice máximo de densidad seca (MDS) de 2,006 y un contenido de humedad óptimo (OMC) de 8,04%. Este estudio ofrece un examen exhaustivo de la densidad del suelo y los niveles óptimos de humedad en diferentes áreas geográficas.

e. Capacidad de soporte

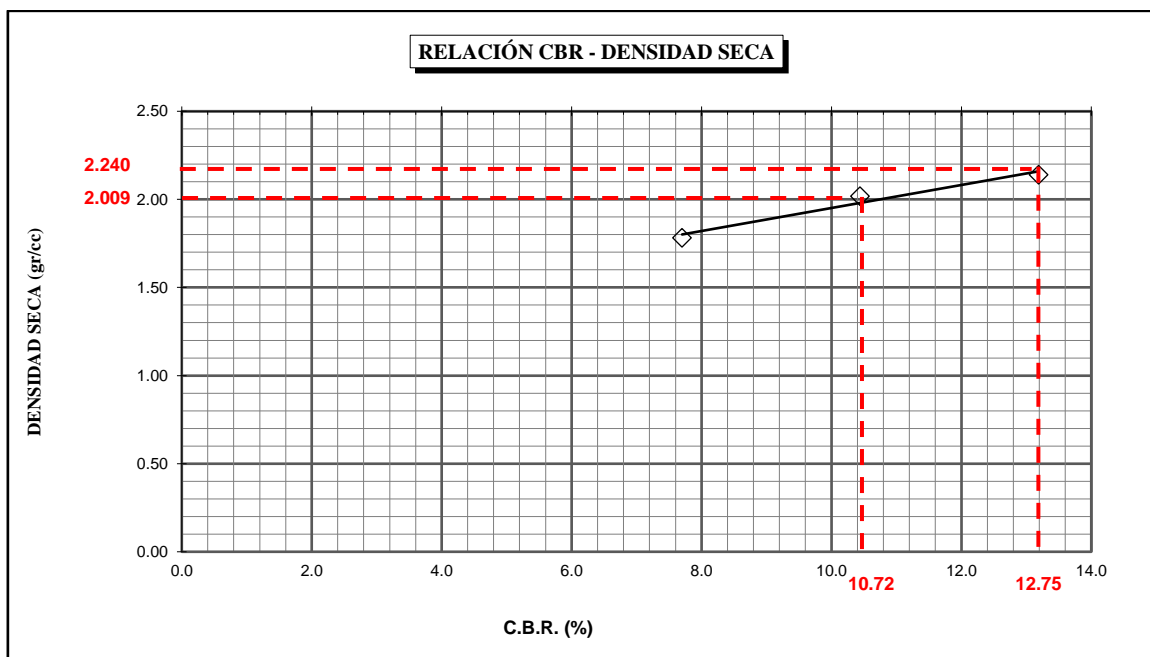
Tabla 7

CBR

CBR		
Explor.-Calic.	CBR - 100%	CBR - 95%
C-1	12.75	10.72
C-2	12.47	11.00
C-3	13.19	10.44
Promedio	12.80	10.72

Figura 18

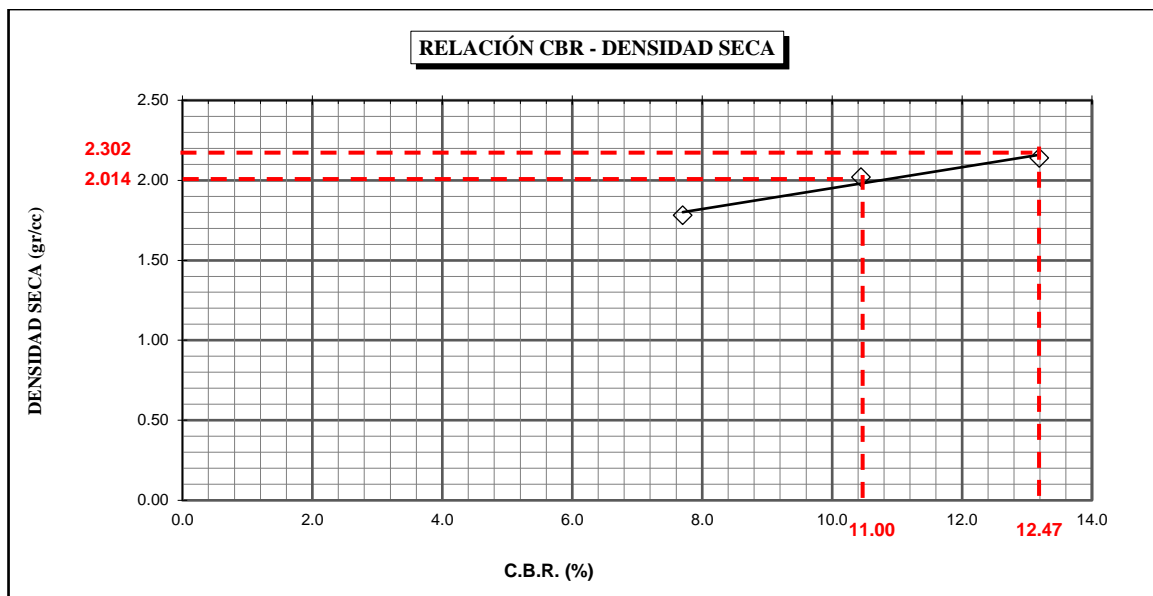
Sondeo 1 - Índice de Capacidad de Soporte



El examen del pozo de prueba 1 ha demostrado que la relación de carga de California (CBR) es un factor importante en la evaluación de la capacidad del suelo para soportar cargas. La relación de carga de California (CBR) del suelo es de 12.47 con una densidad máxima del suelo del 100%. Sin embargo, el CBR disminuye a 10.72 cuando la densidad se reduce al 95%.

Figura 19

Sondeo 2 - Índice de Capacidad de Soporte



El examen del pozo de prueba 1 ha demostrado que la relación de carga de California (CBR) es un factor importante en la evaluación de la capacidad del suelo para soportar cargas. La relación de carga de California (CBR) del suelo es de 12.47 con una densidad máxima del suelo del 100%. Sin embargo, el CBR disminuye a 11.00 cuando la densidad se reduce al 95%.

Figura 20

Sondeo 2 - Índice de Capacidad de Soporte

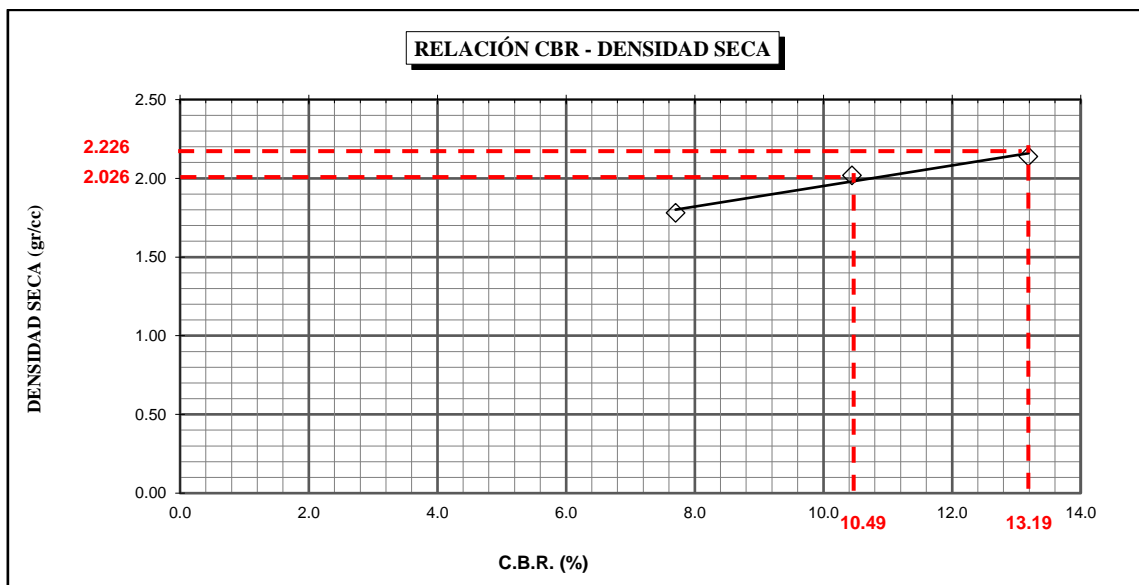
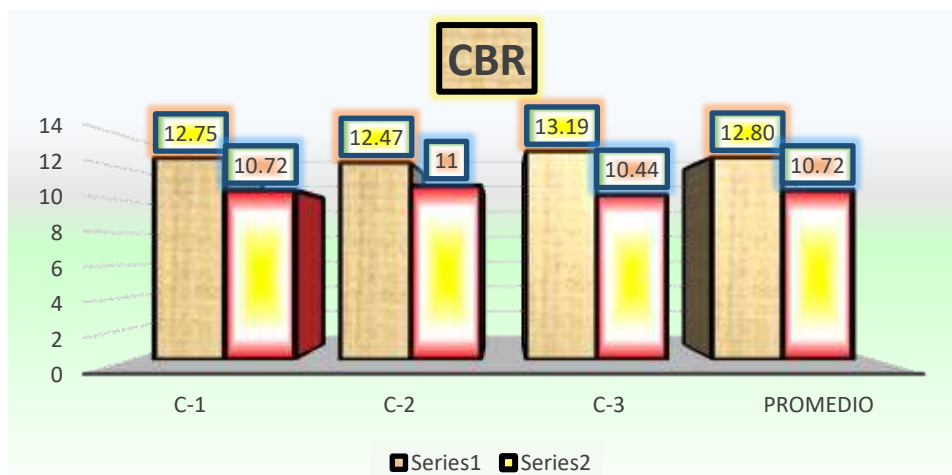


Figura 21

Resumen de CBR



La información sobre el índice de rodamiento de California (CBR) se ha simplificado utilizando muestras naturales obtenidas mediante pruebas en pozo. Con una densidad seca del cien por ciento, el valor CBR es de doce coma ochenta. Un índice de carga de California (CBR) de 10,72 equivale a la densidad seca del suelo cuando se compacta a un nivel del 95%.

4.1.2 Influencia de residuos calcinados de carbón mineral + arena de sílice (5%, 10% y 15%) en el índice de plasticidad

El índice de plasticidad se ve afectado por la aplicación de ceniza de carbón mineral más arena de sílice, y se muestran los valores resultantes en el PI. Los efectos que los insumos inorgánicos, como la ceniza y la arena de sílice, tienen sobre el suelo están relacionados con sus efectos sobre el índice de plasticidad. Estos insumos tienen el poder de alterar la flexibilidad del suelo, por ejemplo, aumentando o disminuyendo su flexibilidad. Los valores de estas medidas dependen de factores como la composición química del aditivo y sus interacciones con los constituyentes del suelo.

Tabla 8

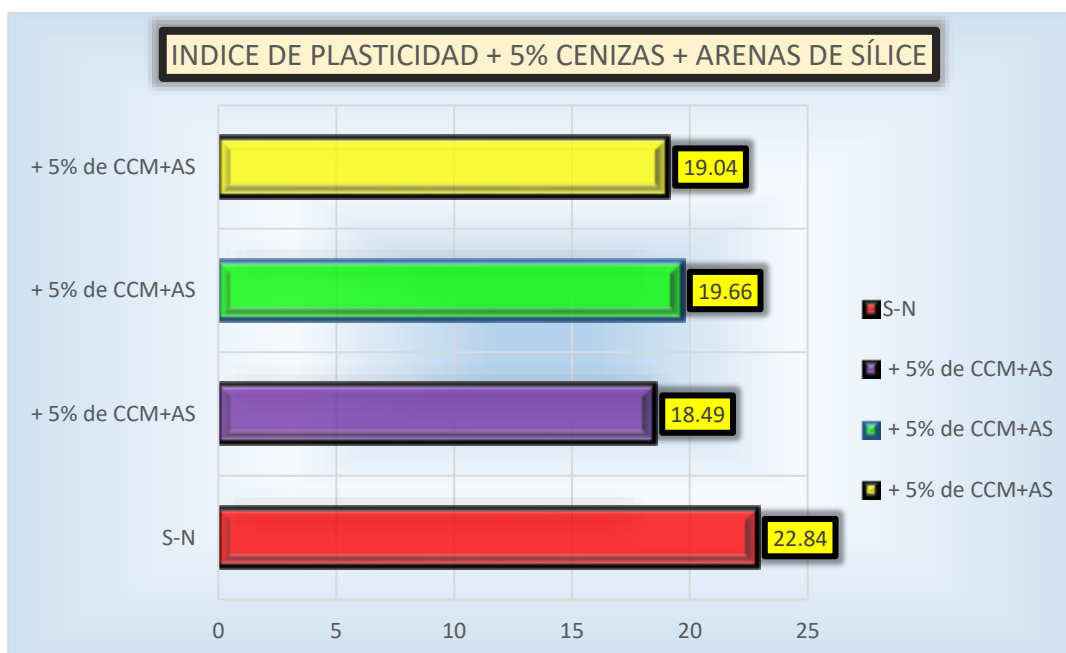
Anexión del 5% de residuos calcinados + arena de sílice en la subrasante – Índice plástico

IP – S+5% de Residuos calcinados + arena sílice			
Descripción	IP (%)	Promedio	Variación en (%)
S-N	22.84	-	-
+ 5% de CCM+AS	18.49		
+ 5% de CCM+AS	19.66	19.06	-3.78%
+ 5% de CCM+AS	19.04		

Nota: S-N (suelo natural), CCM+AS (ceniza de carbón mineral + arena de sílice)

Figura 22

Anexión del 5% de residuos calcinados + arena de sílice – Índice plástico



La comparación del suelo natural con el suelo mezclado con un 5% de residuos de carbón mineral calcinado y arena de sílice revela disparidades significativas en el índice de elasticidad del suelo natural. Las disparidades entre los dos tipos de suelo se hacen evidentes cuando se contrastan. El objetivo de esta comparación es determinar las disparidades que existen entre los dos tipos distintos de suelo. La indicación demuestra una reducción de los síntomas, lo que sugiere una mejora en las propiedades del suelo de

la subrasante. Por tanto, está claro que sus aportaciones están disminuyendo. Esto se debe a que el índice muestra signos de tendencia a la baja.

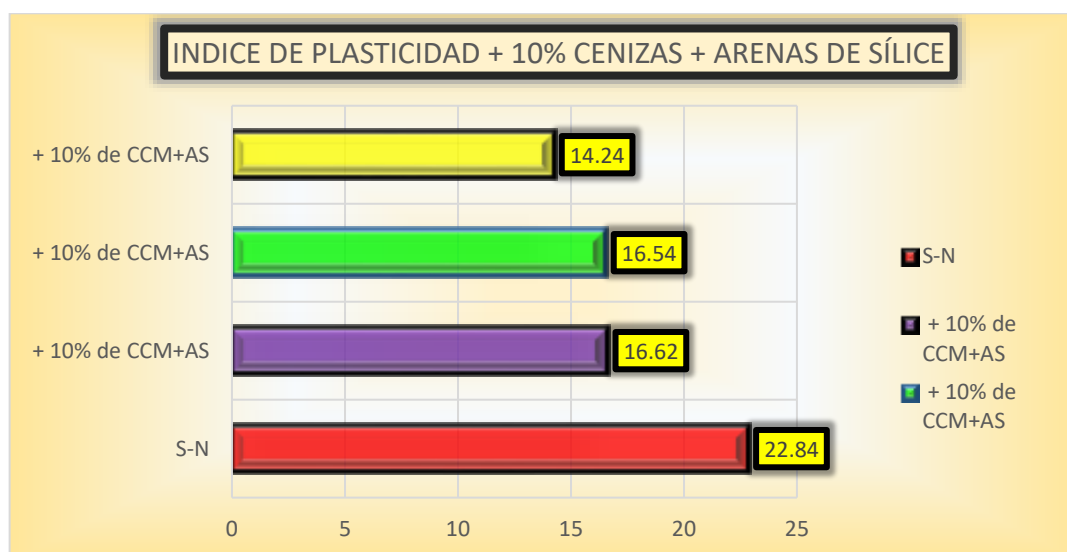
Tabla 9

Anexión del 10% de residuos calcinados + arena de sílice – Índice plástico

Índice de plasticidad – S+10% de residuos calcinados + arena de sílice			
Descripción	IP (%)	Promedio	Variación en (%)
S-N	22.84	-	-
+ 10% de CCM+AS	16.62		
+ 10% de CCM+AS	16.54	15.80	-7.04%
+ 10% de CCM+AS	14.24		

Figura 23

Anexión del 10% de residuos calcinados + arena de sílice – Índice plástico



Hay una diferencia notable en el índice de elasticidad entre el suelo no tratado y el suelo que se ha combinado con una combinación de 10% de residuos de carbón mineral calcinado y arena de sílice. La evidencia sugiere que el uso de estos compuestos inorgánicos puede mejorar las características del suelo de subrasante al disminuir el índice. Las muestras obtienen un índice promedio de 15,80 al incluir un 10% de residuo de carbón calcinado y arena de sílice.

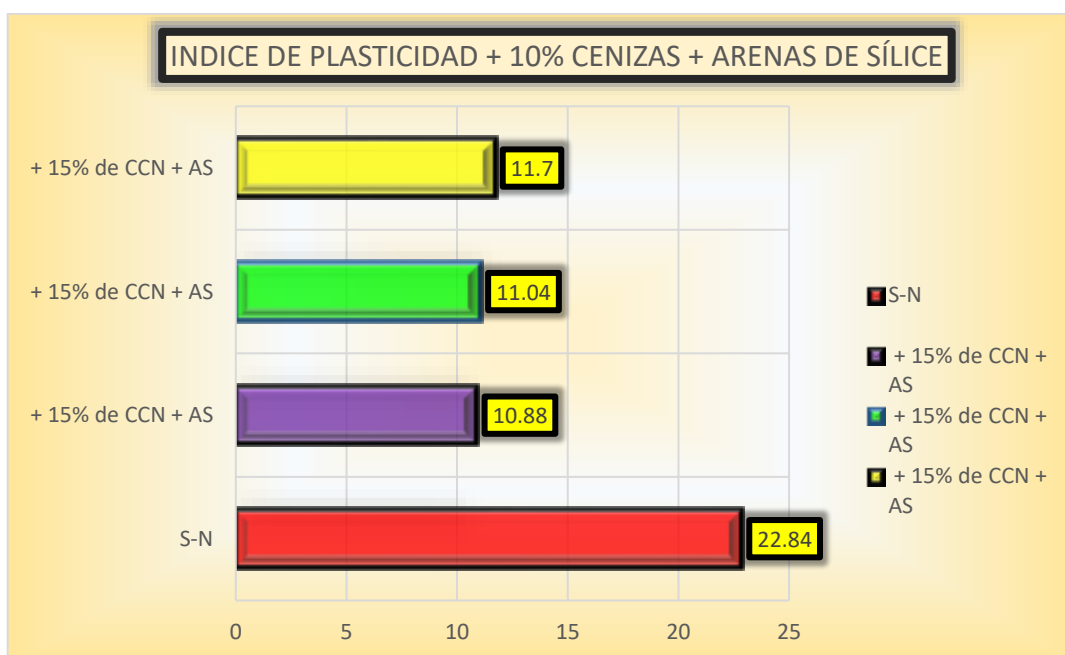
Tabla 10

Anexión del 15% de residuos calcinados + arena de sílice – Índice plástico

Índice de plasticidad – S+15% de Residuos calcinados + Arena de sílice			
Descripción	IP (%)	Promedio	Variación en (%)
S-N	22.84	-	-
+ 15% de CCN + AS	10.88		
+ 15% de CCN + AS	11.04	11.21	-8.18%
+ 15% de CCN + AS	11.70		

Figura 24

Anexión del 15% de residuos calcinados + arena de sílice – Índice plástico



Hay una diferencia notable en el índice de elasticidad entre el suelo no tratado y el suelo que se ha combinado con una combinación de 15% de residuos de carbón mineral calcinado y arena de sílice. La evidencia sugiere que el uso de estos compuestos inorgánicos puede mejorar las características del suelo de subrasante al disminuir el índice. Las muestras obtienen un índice promedio de 11.21 al incluir un 15% de residuo de carbón calcinado y arena de sílice.

Comparativa

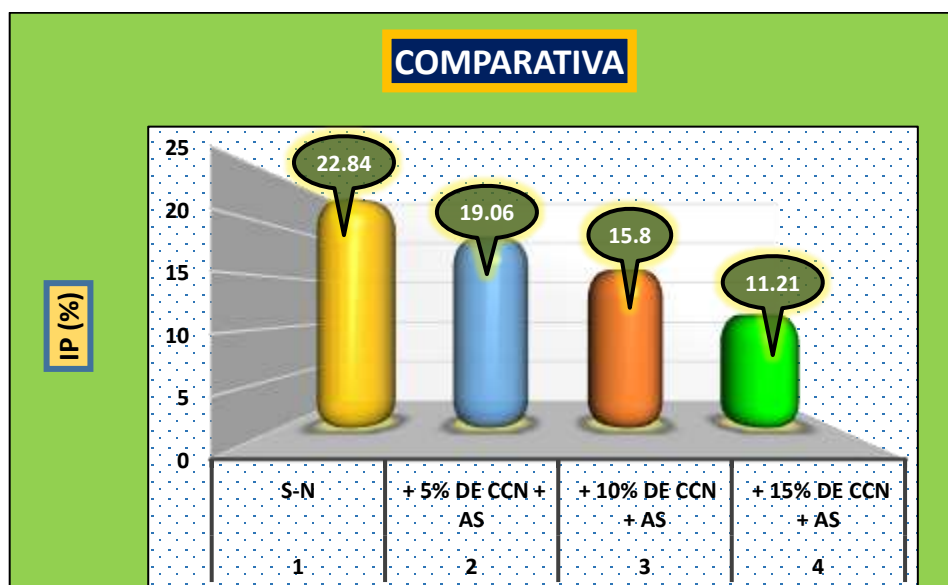
Tabla 11

Índice de plasticidad

IP – S+% de CCN+AS		
Descripción	IP (%)	Variación en (%)
S-N	22.84	-
+ 5% de CCN + AS	19.06	-3.78%
+ 10% de CCN + AS	15.80	-7.04%
+ 15% de CCN + AS	11.21	-8.18%

Figura 25

Comparativa del índice de plasticidad



Junto con los datos se muestran figuras que muestran índices de plasticidad para muestras de suelo sin tratar y modificadas con basura calcinada y arena de sílice. La plasticidad del suelo se redujo impresionantemente en un 11,21% con el uso de basura calcinada que contenía un 15% de arena de sílice.

4.1.3 Influencia de residuos calcinados de carbón mineral + la arena de sílice en el grado de compactación

a) Máxima densidad seca (MDS)

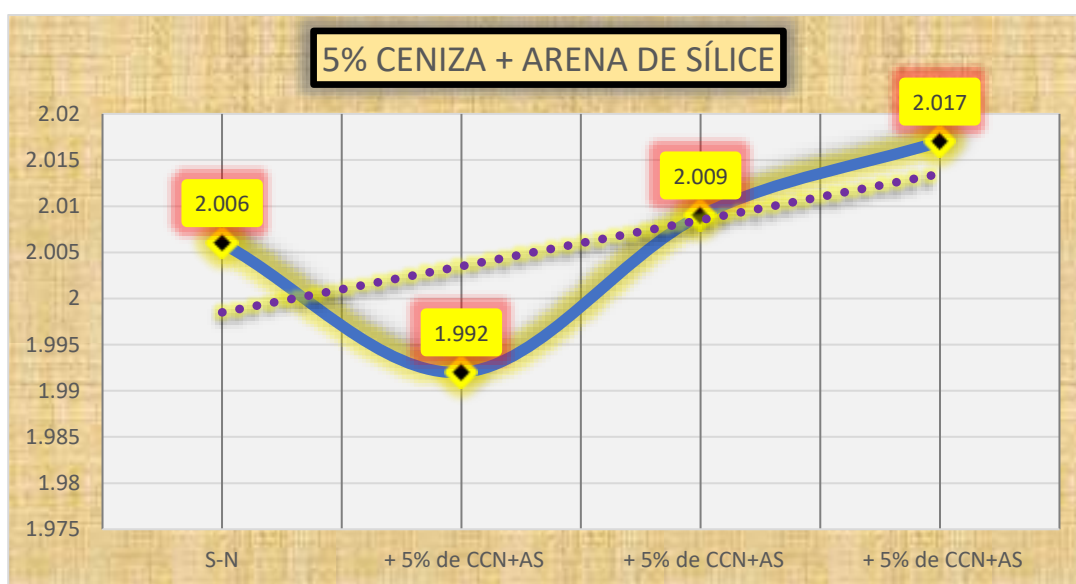
Tabla 12

Anexión del 5% de residuos calcinados de residuos calcinados + arena de sílice - MDS

GP – S+ 5% de Ceniza + Arena de sílice			
Descripción	MDS (gr/cc)	Promedio	Aumento en (%)
S-N	2.006	-	-
+ 5% de CCN+AS	1.992		
+ 5% de CCN+AS	2.009	1.96	8.84%
+ 5% de CCN+AS	2.017		

Figura 26

Anexión del 5% de residuos calcinados + arena de sílice



Para determinar el Grado de Compactación (GC), examinamos muestras de suelo tomadas de la subrasante inicial, con y sin adición de un 5% de residuos calcinados y arena de sílice. Los resultados de la investigación sugieren que el Grado de Compactación aumenta en un 1,96% cuando se utiliza una combinación que contiene un 5% de basura calcinada y arena de sílice.

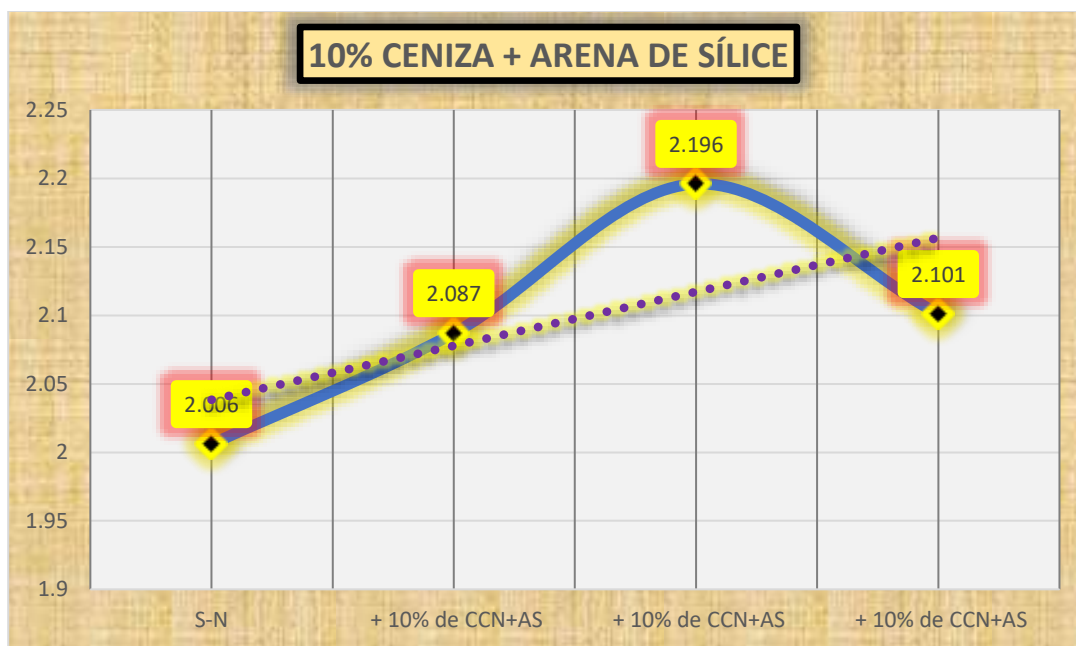
Tabla 13

Anexión del 10% de residuos calcinados + arena de sílice - MDS

GC – S+ 10% de Ceniza + arena sílice			
Descripción	MDS (gr/cc)	Promedio	Aumento en (%)
S-N	2.006	-	-
+ 10% de CCN+AS	2.087		
+ 10% de CCN+AS	2.196	2.128	15.30%
+ 10% de CCN+AS	2.101		

Figura 27

Anexión del 10% de residuos calcinados + arena de sílice - MDS



Cuantificamos el grado de compactación (GC) del suelo de subrasante nativo evaluando muestras que se mezclaron con una mezcla de 10% de desechos calcinados y arena de sílice. La inyección de una mezcla de un 10% de residuo calcinado y arena de sílice supone un aumento significativo del 15,30% en el Grado de Compactación.

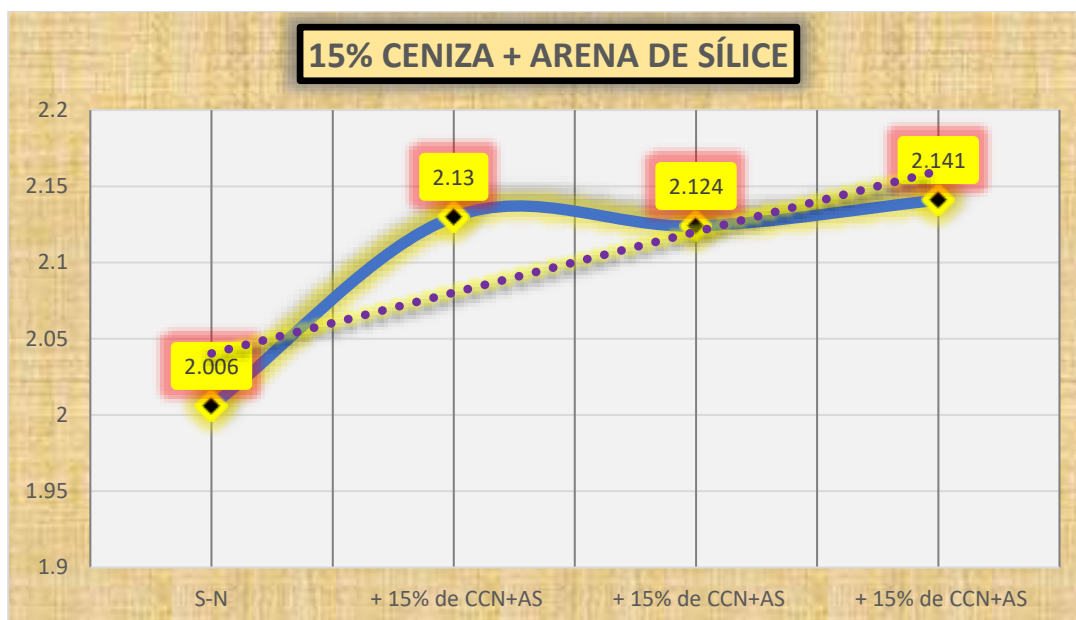
Tabla 14

Anexión del 15% de residuos calcinados con arena de sílice - MDS

GC-S+ 15% de Ceniza + arena de sílice			
Descripción	MDS (gr/cc)	Promedio	Aumento en (%)
S-N	2.006	-	-
+ 15% de CCN+AS	2.130		
+ 15% de CCN+AS	2.124	2.13	19.53%
+ 15% de CCN+AS	2.141		

Figura 28

Anexión del 15% de residuos calcinados + arena de sílice - MDS



Al comparar muestras de suelo en la subrasante natural con aquellas mezcladas con una mezcla de 9% de desechos calcinados y arena de sílice, podemos estimar el nivel de compactación (GC) del suelo. Al incluir un 15% de muestra adicional, esta investigación muestra que el Grado de Compactación aumenta significativamente en un 19,53%.

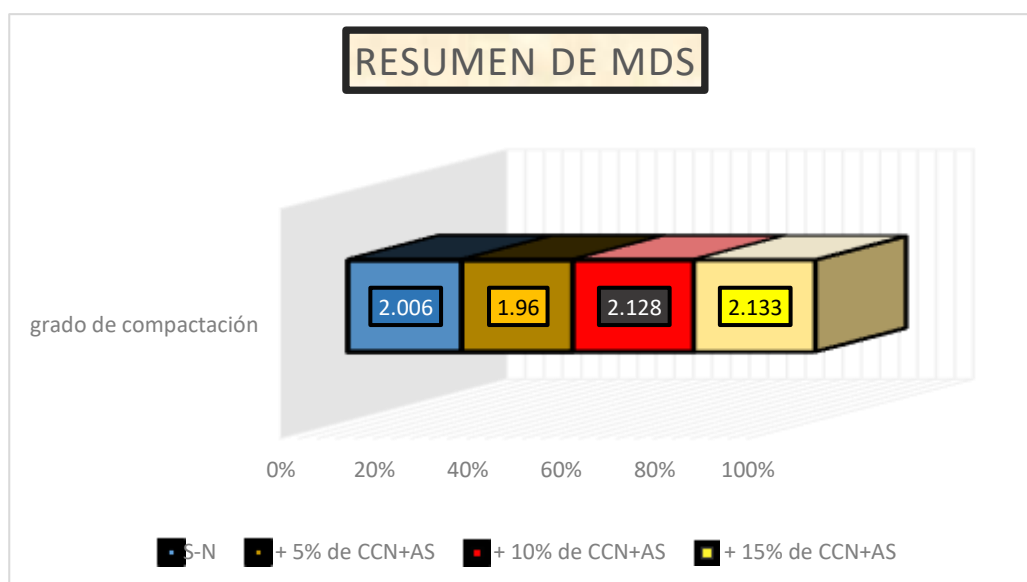
Tabla 15

Comparativa de MDS

GC – S + % de ceniza + arena de sílice		
Descripción	MDS (gr/cc)	Variación en (%)
S-N	2.006	-
+ 5% de CCN+AS	1.96	8.84%
+ 10% de CCN+AS	2.128	15.30%
+ 15% de CCN+AS	2.133	19.53%

Figura 29

Comparativa de MDS



Un examen exhaustivo del nivel de compresión de las muestras indica que la inclusión del 15% de material ha dado como resultado un aumento sustancial en la Densidad Seca Máxima. Para ser más específicos, hubo un aumento significativo del 19,53%.

b) Contenido óptimo de humedad

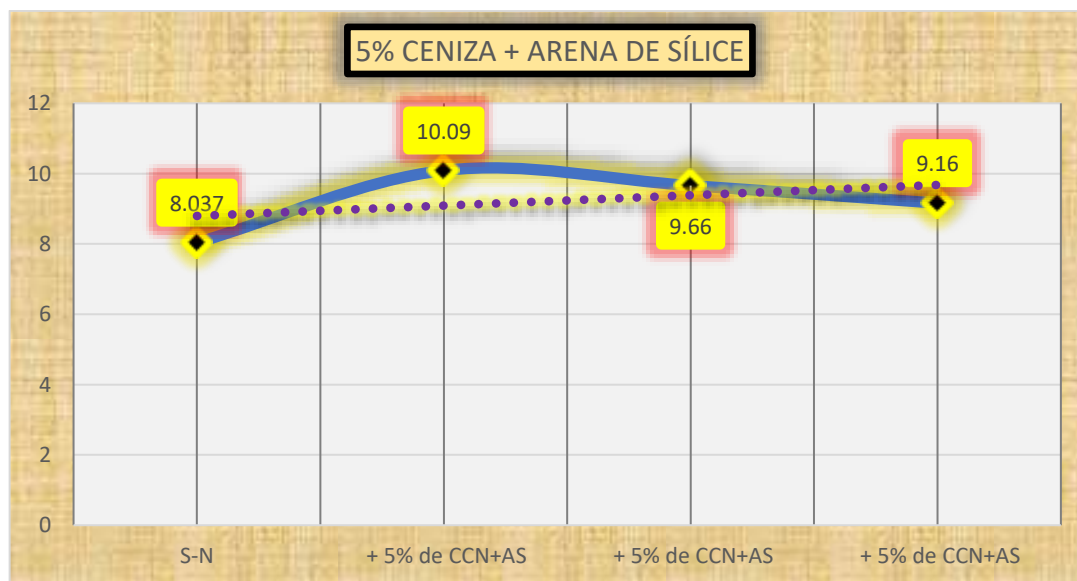
Tabla 16

Anexión del 5% de residuos calcinados + arena de sílice -OCH

OCH – S+ 5% de Ceniza + arena de sílice		
Descripción	OCH (%)	Promedio
S-N	8.037	-
+ 5% de CCN+AS	10.09	9.64
+ 5% de CCN+AS	9.66	
+ 5% de CCN+AS	9.16	

Figura 30

Anexión del 5% de ceniza + arena de sílice - OCH



Al comparar la muestra natural con muestras que incluyen un 5% de desechos calcinados y arena de sílice, el gráfico muestra los valores del contenido de humedad. Se dedica especial atención a la comparación entre la muestra natural y las muestras. Como resultado de las observaciones, se descubrió que la integración de un 5% de desechos calcinados y arena de sílice dio como resultado el logro de un contenido de humedad ideal promedio de 9,64%.

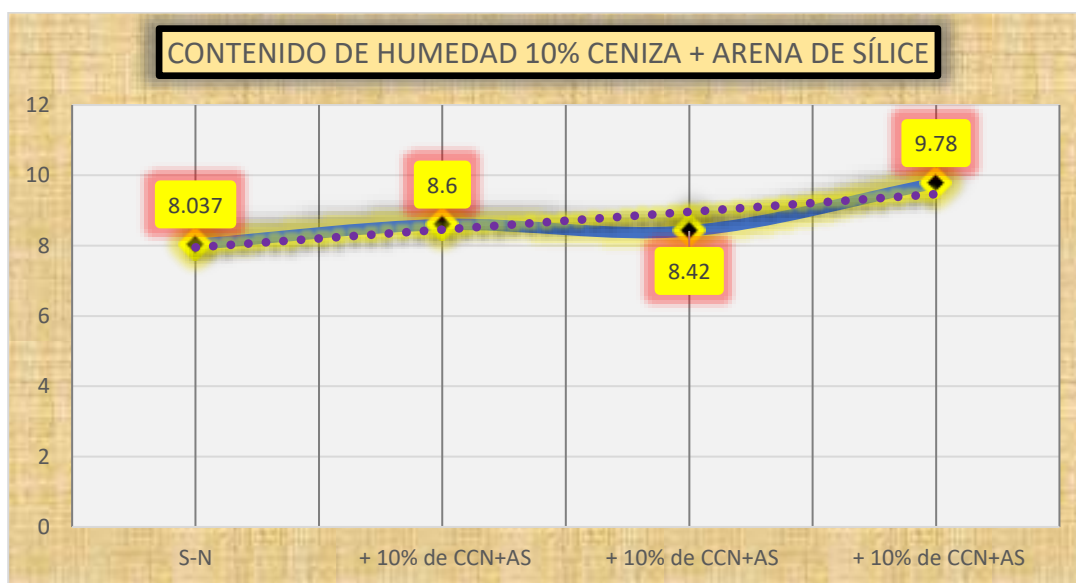
Tabla 17

Anexión del 10% de residuos calcinados más arena de sílice - OCH

OCH –S+ 10% de Ceniza más arena de sílice		
Descripción	OCH (%)	Promedio
S-N	8.037	-
+ 10% de CCN+AS	8.60	8.93
+ 10% de CCN+AS	8.42	
+ 10% de CCN+AS	9.78	

Figura 31

Anexión del 10% de residuos calcinados + arena de sílice - OCH



El gráfico ilustra los resultados del contenido de humedad, destacando tanto la muestra natural como las muestras con 10% de basura calcinada y arena de sílice. El gráfico incorpora además los hallazgos del estudio. La adición del diez por ciento de residuos calcinados dio como resultado un contenido de humedad óptimo promedio del 8,93 por ciento. Este descubrimiento es de gran importancia.

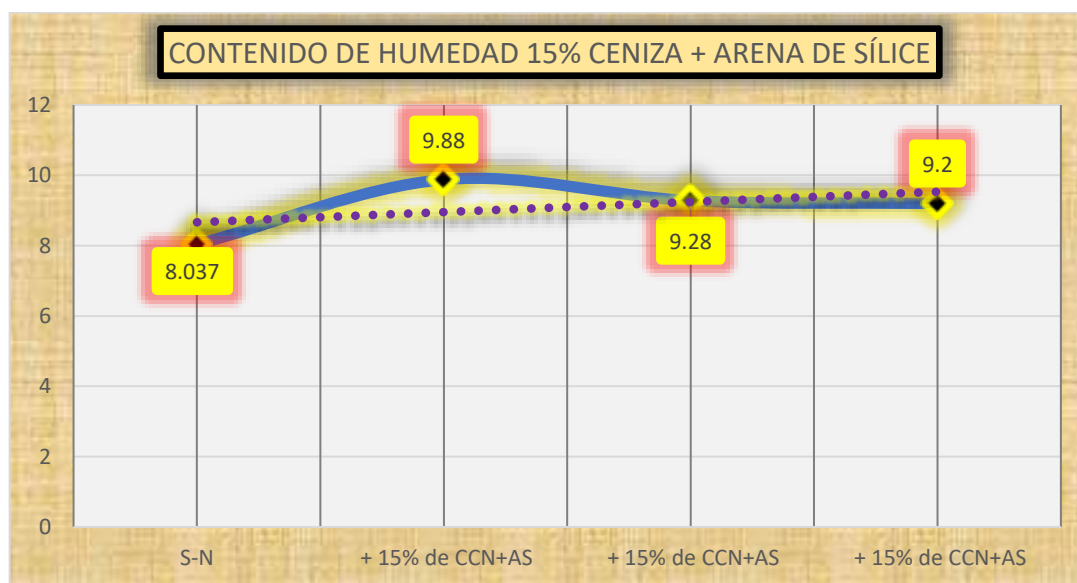
Tabla 18

Anexión del 15% de residuos calcinados + arena de sílice - OCH

OCH – S+ 15% de Ceniza + arena de sílice		
Descripción	OCH (%)	Promedio
S-N	8.037	-
+ 15% de CCN+AS	9.88	9.46
+ 15% de CCN+AS	9.28	
+ 15% de CCN+AS	9.20	

Figura 32

Anexión del 15% de residuos calcinados + arena de sílice - OCH



En el gráfico se ilustran los valores del contenido de humedad, destacando específicamente la muestra natural, así como las muestras con un 15% de residuos calcinados y arena de sílice. El gráfico también muestra el contenido de humedad general. Se descubrió un descubrimiento digno de mención que indica que la adición de un 15 % de desechos calcinados y arena de sílice dio como resultado un contenido de humedad ideal promedio de 9,46 %. Se ha logrado un avance trascendental en este sitio específico.

4.1.4 Influencia de residuos calcinados + arena de sílice en la capacidad de soporte (CBR)

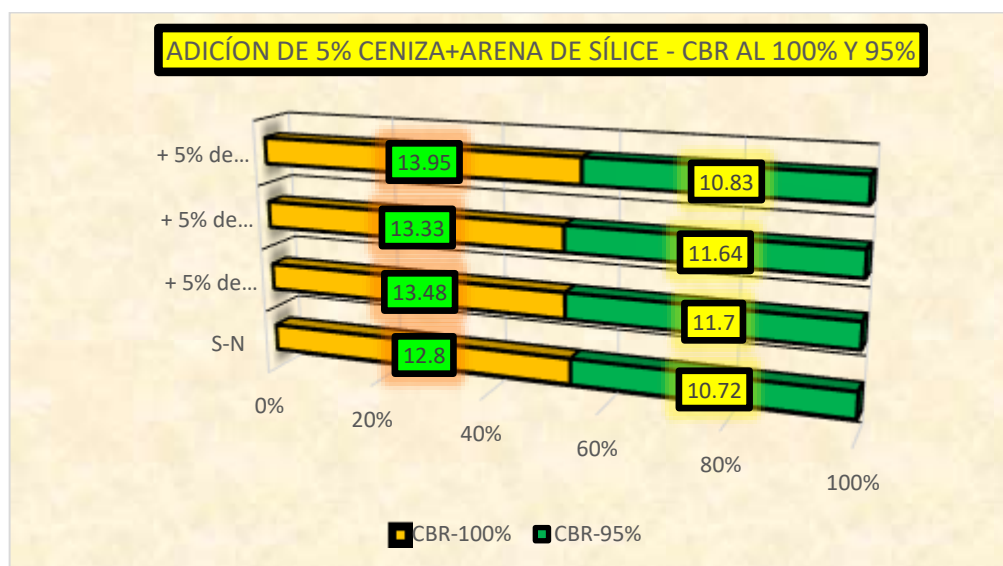
Tabla 19

CBR- adicionando el 5 % de residuos calcinados + arena de sílice

CBR – S+5% de Ceniza más arena de sílice				
Descripción	CBR-100%	Promedio	CBR-95%	Promedio
S-N	12.80	-	10.72	-
+ 5% de CCN+AS	13.48		11.70	
+ 5% de CCN+AS	13.33	13.58	11.64	11.39
+ 5% de CCN+AS	13.95		10.83	

Figura 33

CBR- adicionando el 5 % de residuos calcinados + arena de sílice



Nuestras estimaciones de CBR se derivan de dos fuentes: la muestra de suelo original y una segunda muestra que se mejoró con un 5 % de basura calcinada y arena de sílice. Luego de la incorporación de los desechos calcinados, se observó una mejora perceptible, lo que quizás sugiere un aumento en el índice de rodamiento de California (CBR).

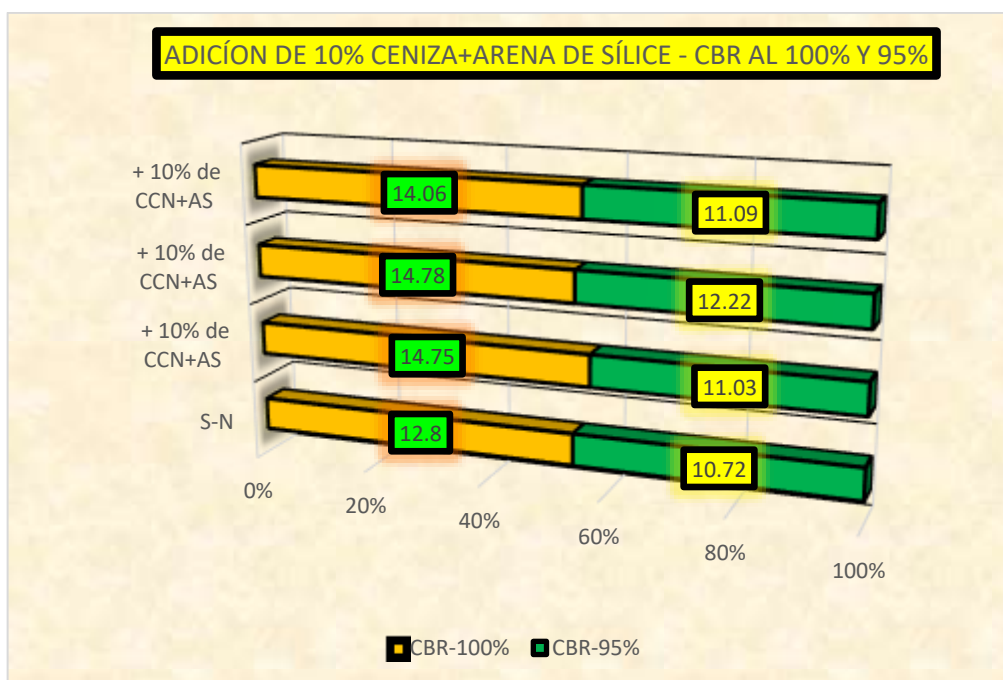
Tabla 20

CBR- adicionando el 10 % de residuos calcinados + arena de sílice

CBR – S+10% de Ceniza + arena de sílice				
Descripción	CBR-100%	Promedio	CBR-95%	Promedio
S-N	12.80	-	10.72	-
+ 10% de CCN+AS	14.75		11.03	
+ 10% de CCN+AS	14.78	14.53	12.22	11.45
+ 10% de CCN+AS	14.06		11.09	

Figura 34

CBR- adicionando el 10 % de residuos calcinados + arena de sílice



Nuestras estimaciones de CBR se derivan de dos fuentes: la muestra de suelo original y una segunda muestra que se mejoró con un 10 % de basura calcinada y arena de sílice. Luego de la incorporación de los desechos calcinados, se observó una mejora perceptible, lo que quizás sugiere un aumento en el índice de rodamiento de California (CBR).

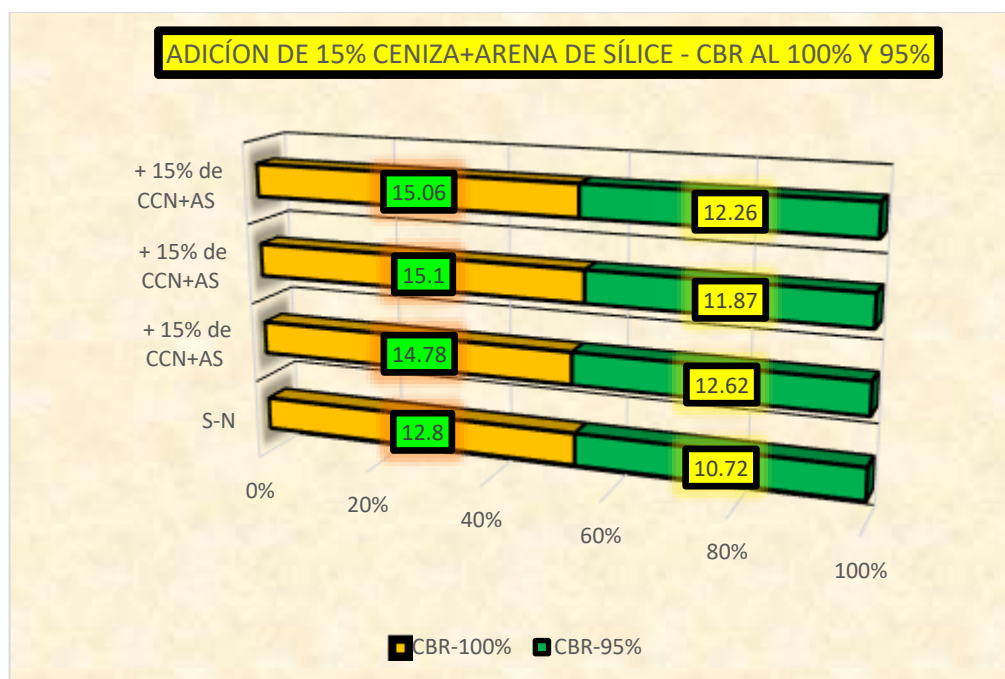
Tabla 21

CBR- adicionando el 15 % de residuos calcinados + arena de sílice

CBR – S+15% de Ceniza + arena de sílice				
Descripción	CBR-100%	Promedio	CBR-95%	Promedio
S-N	12.80	-	10.72	-
+ 15% de CCN+AS	14.78		12.62	
+ 15% de CCN+AS	15.10	14.98	11.87	12.25
+ 15% de CCN+AS	15.06		12.26	

Figura 35

CBR- adicionando el 15% de residuos calcinados + arena de sílice



Nuestras estimaciones de CBR se derivan de dos fuentes: la muestra de suelo original y una segunda muestra que se mejoró con un 15 % de basura calcinada y arena de sílice. Luego de la incorporación de los desechos calcinados, se observó una mejora perceptible, lo que quizás sugiere un aumento en el índice de rodamiento de California (CBR).

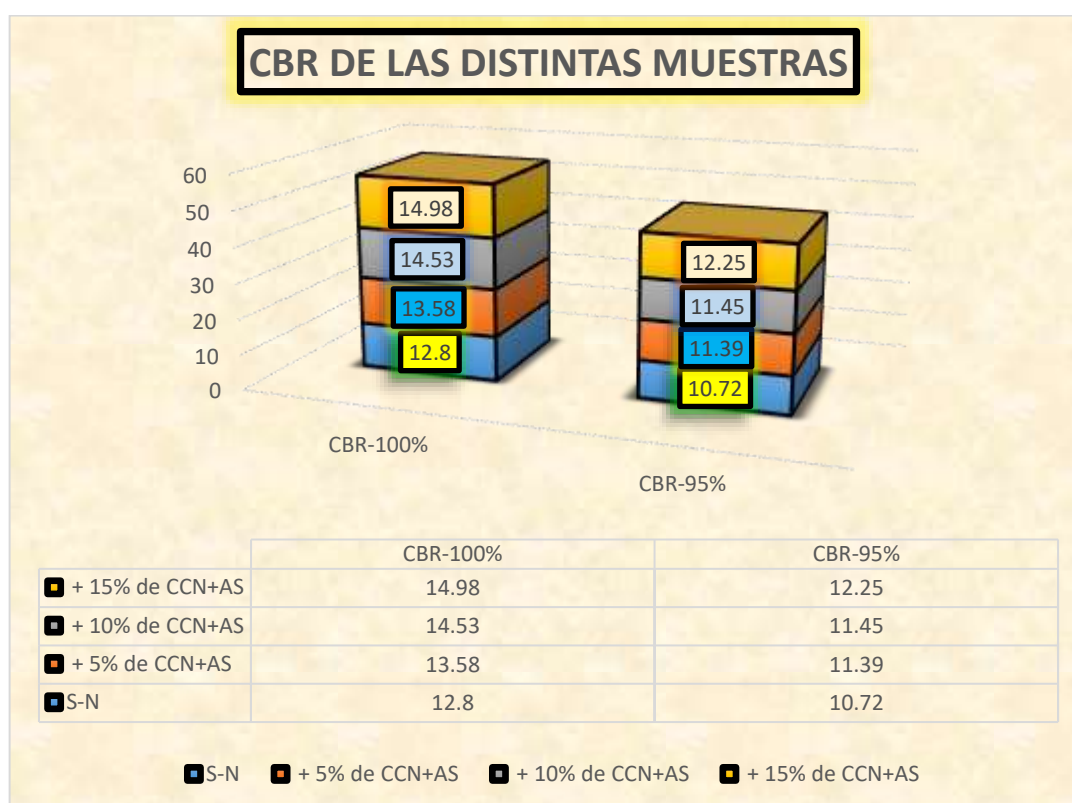
Tabla 22

Resumen de CBR- adicionando de residuos calcinados + arena de sílice

CBR – S+% de ceniza más arena de sílice		
Descripción	CBR-100%	CBR-95%
S-N	12.80	10.72
+ 5% de CCN+AS	13.58	11.39
+ 10% de CCN+AS	14.53	11.45
+ 15% de CCN+AS	14.98	12.25

Figura 36

Comparativa de CBR



La tabla presenta los valores de CBR derivados de la muestra de suelo natural, así como las muestras con ceniza adicional y arena de sílice, tanto antes como después de la aplicación del suelo. La incorporación de residuos calcinados y arena de sílice provoca un aumento significativo de los valores de CBR, especialmente cuando se utiliza un 15% de

este componente, demostrando un rendimiento excepcional. Esto es particularmente exacto si se tiene en cuenta el aumento sustancial de los niveles de CBR.

4.2 *Discusión de resultados*

En el estudio de (Zimar et al., 2022), Examinamos detenidamente la viabilidad de utilizar residuos calcinados volantes para estabilizar la subrasante. Para evaluar el efecto de este incremento, se seleccionaron tres porcentajes diferentes: 8%, 10% y 12%. Los resultados de la prueba del 95% de CBR demostraron una notable mejora de la resistencia del suelo. El CBR del suelo natural era inicialmente del 14,13%; sin embargo, tras añadir un 4% de residuos calcinados volantes, este valor aumentó bruscamente hasta el 18,12%. Con la Anexión del 6%, el CBR aumentó al 21,33%, y con la Anexión del 9%, el CBR aumentó a un extraordinario 25,27%. Estos resultados muestran inequívocamente que la ceniza volante puede fortificar el suelo, lo que tiene importantes implicaciones para la estabilización de la subrasante. En cuanto a la prueba de grado de compactación, hubo una variación sustancial en la densidad máxima del suelo. La densidad máxima inicial del suelo natural fue de 1,75 g/cm³. Tras añadir un 4%, se produjo un ligero aumento hasta 1,77 gr/cm³. Combinando el 6% y el 9% se obtuvo una densidad máxima de 1,8 y 1,83 gramos por centímetro, respectivamente.

CONCLUSIONES

- C.1.** Debido a que las arcillas son el tipo de suelo predominante en la zona, la Avenida Tintaya en Juliaca tiene una puntuación de plasticidad muy alta de 21,26%. Además, un contenido de humedad ideal de 8.157% se combina con una densidad seca máxima de 1.782 gr/cm³. Para evaluar la capacidad portante se ha calculado un índice CBR de 5,63% y 5,31% al 100% y 95% del MDS, respectivamente. Estos valores no cumplen las normas de la DG-2018 y demuestran una capacidad portante insuficiente.
- C.2.** La adición de cenizas de carbón a arena de sílice en concentraciones del 5%, 10% y 15% tiene un efecto positivo sobre el índice de plasticidad. Se registra una reducción del índice en un 19,39% y un 19,06% al incluir un 5% de ceniza de carbón mineral y arena de sílice. El índice de plasticidad aumentó al 15,80% cuando la tasa de anexión se elevó al 10%. Además, cuando la tasa de anexión se elevó al 15%, el índice de plasticidad se redujo al 11,21%.
- C.3.** La adición de ceniza de carbón y arena de sílice en concentraciones del 5%, 10% y 15% afecta positivamente el grado de compactación. El uso de una mezcla al 5% de ceniza de carbón y arena de sílice ha supuesto un aumento significativo de la densidad máxima, pasando de 1,78 a 1,96 gr/cm³. De manera similar, una concentración del 10% produjo una densidad máxima de 2,128 gr/cm³, y una concentración del 15% produjo una densidad máxima de 2,133 gr/cm³.
- C.4.** La adición de ceniza de carbón y arena de sílice en proporciones del 5%, 10% y 15% tiene un efecto positivo en la capacidad de soporte del CBR. Se registra un incremento del 95% en el índice de natalidad (CBR), al pasar de 5.35% a 6.81%, al emplear una combinación compuesta por un 5% de residuos calcinados de carbón mineral y arena de sílice. Del mismo modo, se consigue un CBR (California Bearing Ratio) del 8,41%



con un aumento del 10%, y un CBR del 11,81% con un aumento del 15%, demostrando una capacidad de soportar cargas loable.

RECOMENDACIONES

- R.1.** Periódicamente a lo largo del año se deben realizar investigaciones geotécnicas para monitorear las fluctuaciones en las características físicas y mecánicas de la subrasante en relación a diversas circunstancias climáticas. Esto es especialmente crucial debido a la elevada altitud y los frecuentes cambios de temperatura en la ciudad de Juliaca.
- R.2.** Se recomienda investigar más sobre la inclusión de componentes suplementarios, además de ceniza de carbón y arena de sílice, para reducir efectivamente el índice de plasticidad de la subrasante. Adicionalmente, es recomendable realizar exhaustivos experimentos de campo para validar los resultados obtenidos en el laboratorio y determinar la efectividad de las combinaciones sugeridas en las condiciones reales de la Avenida Tintaya.
- R.3.** Se recomienda realizar pruebas de compactación a diferentes niveles de humedad para determinar el rendimiento óptimo de la subrasante cuando se agregan residuos calcinados de carbón y arena de sílice. Es importante desarrollar técnicas de compactación consistentes que puedan usarse durante toda la construcción para garantizar que se logre la mayor cantidad de compactación, lo que mejora la estabilidad de la subrasante en el mayor grado posible.
- R.4.** Se deben realizar estudios a largo plazo para evaluar las mejoras duraderas y constantes en el CBR de la subrasante que ocurren cuando se agregan residuos calcinados de carbón y arena de sílice. Además, es recomendable evaluar la rentabilidad de esta integración en comparación con otros métodos tradicionales de estabilización, asegurando que la solución sea económicamente viable y técnicamente efectiva para su implementación en futuros proyectos de desarrollo vial en la ciudad de Juliaca.



**BIBLIOGRAFÍA**

- Aguilar Zambrano, A., & Cardenas Diego, P. A. (2023). Estabilización de suelos arenosos mediante la Anexión de silicato de sodio en la subrasante de la alameda sur de Chorrillos. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*.
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/667624>
- Averos, S. del R. O. (2019). *Estudio Experimental sobre la Estabilización de una Subrasante Limo Arcillosa con RCD-concreto Fino (partículas < 2mm) para Aplicación en Pavimentos* [bachelorThesis].
<https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/5903>
- Baldeon Sauñe, I. P. (2019). Análisis del Uso de la Arena de Sílice en la Estabilización de la Subrasante. *Universidad Peruana Los Andes*.
<http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/1307>
- Castillo, C. C. del, Orozco, S. O., & García, M. G. (2014). *Metodología de la Investigación*. Grupo Editorial Patria.
- Castro Cuadra, A. F. (2019). Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante. *Universidad Nacional de Ingeniería*.
<http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2351785>
- Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., & Camargo Casallas, E. (2023). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75), 140-174.
<https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
- Condori Supo, F. (2023). Estabilización del suelo arcilloso de subrasante de la Av. Asunción adicionando residuos de mezclas asfálticas, San Miguel, Puno, 2023. *Repositorio Institucional* - UCV.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/115112>



- Gamboa Garcia, J. G. (2020). Evaluación de la mejora técnica y económica del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ utilizando humo de sílice, Lima – 2020. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/66996>
- GAVIDIA. (s. f.). *¿Cómo se clasifica el suelo mediante el sistema AASHTO?* GIG. Recuperado 9 de marzo de 2024, de <https://ingeotecnica.com/clasificacion-del-suelo-mediante-el-sistema-aashto>
- Guevara Tuesta, J. J. (2022). Influencia de la Anexión de las escorias del horno eléctrico de Sider Perú en la estabilización de subrasante para pavimentos en Chimbote. *Repositorio Institucional - UNS*. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4189>
- Hadi, M., Martel, C., Huayta, F., Rojas, R., & Arias, J. (2023). *Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis* [Text.Chapter]. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.073>
- Iglesias, M. E. (2021). *Metodología de la investigación científica: Diseño y elaboración de protocolos y proyectos*. Noveduc.
- Joya Campos, R. M. (2020). Influencia de la sílice de la roca pórfido en la evaluación del concreto 210 kg/cm^2 , Distrito de Mala – 2020. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63925>
- Machaca Calla, E. A., & Yucra Mendoza, R. A. (2022). Estabilización de la subrasante adicionando ceniza de estiércol de ovino para la vía Canchi Grande de bajo tránsito, Caracoto—Puno 2022. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13865>
- Marik, S., R.n., G. D. R., Singh, A., & Khot, P. (2022). Investigation on use of silica based additive for sustainable subgrade construction. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01229. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01229>
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*



- [Text.Chapter]. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- Minerales, T. P. (s. f.). *Abrasivo de sand blast y Minerales*. Total Prodinter Minerales. Recuperado 2 de marzo de 2024, de <https://totalprodinter.com/escoria-de-cobre>
- MTC. (2014). *Manual de carreteras Suelos, geología, geotecnia y pavimento*.
- Pérez, G., & Fernando, J. (2016). *Aprovechamiento de residuos calcinados de carbón mineral producidas en la industria local como material conglomerante en la construcción* [masterThesis, Universidad de Medellín]. <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/65>
- Pimienta, J., Orden, A. de la, & Estrada, R. (2018). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*.
- Quispe Suma, Y., & Venero Delgado, R. M. (2021). Mejoramiento de suelo limo arcilloso para incrementar la resistencia mecánica de subrasante, aplicando cemento portland, en distrito Inkawasi– Cusco – 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/85694>
- Reyes, E. (2022). *Metodologia de la Investigacion Cientifica*. Page Publishing Inc.
- Rios Vilca, N. W., & Neyra Vasquez, A. M. (2020). Influencia de las residuos calcinados de carbón mineral en las propiedades de una subrasante arcillosa en Huamachuco, La Libertad, 2020. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/59904>
- Zimar, Z., Robert, D., Zhou, A., Giustozzi, F., Setunge, S., & Kodikara, J. (2022). Application of coal fly ash in pavement subgrade stabilisation: A review. *Journal of Environmental Management*, 312, 114926. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114926>



ANEXOS



Anexo 1. Matriz de Consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p>Problema General:</p> <p>¿Cuál es la variación de las propiedades de la subrasante con incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Analizar y comparar las propiedades de la subrasante con incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>La variación de las propiedades de la subrasante con incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice es significativa respecto al suelo patrón en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>RESIDUOS CALCINADOS DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SÍLICE</p> <p>Dimensiones:</p> <p><i>Proporciones de Anexión de residuos calcinados de carbón minera + ARENA DE SÍLICE</i></p> <p>M+5%CCM + AS M+10%CCM + AS M+15%CCM + AS</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>PROPIEDADES DEL SUELO SUBRASANTE</p> <p>Dimensiones:</p> <p><i>Índice de plasticidad (IP)</i> <i>Grado de compactación (MDS y OCH)</i> <i>CBR (capacidad relativa del soporte)</i></p>	<p>Fichas y Herramientas de Laboratorio</p> <p>Equipos y herramienta de Laboratorio de Concretos.</p>
<p>Problemas Específicos</p> <p>¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca?</p> <p>¿Cuál es la variación del índice de plasticidad de la subrasante con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca?</p> <p>¿Cuál es la variación del grado de compactación de la subrasante con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca?</p> <p>¿Cuál es la variación del CBR de la subrasante con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca?</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <p>Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.</p> <p>Determinar la variación del índice de plasticidad de la subrasante con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.</p> <p>Determinar la variación del grado de compactación de la subrasante con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.</p> <p>Determinar la variación del CBR de la subrasante con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>Las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca, se calificarán como suelos de subrasante inadecuados.</p> <p>La variación del índice de plasticidad de la subrasante es regular y reducirá significativamente con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.</p> <p>La variación del grado de compactación de la subrasante es alta y aumentará considerablemente con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.</p> <p>La variación del CBR de la subrasante es alta e incrementará significativamente con la incorporación de ceniza de carbón mineral y arena de sílice en porcentajes progresivos en la avenida Tintaya de la ciudad de Juliaca.</p>		

Anexo 2. Panel fotográfico

Fotografía 01. Pesado de las muestras en las instalaciones del laboratorio



Fotografía 02. Cálculo de dosificaciones de las muestras



Fotografía 03. Análisis de muestras recabadas



Fotografía 04. Verificación de los materiales para la compactación de suelos



Fotografía 05. Pesaje de las muestras para los análisis de suelos



Fotografía 06. Pesaje de las pipetas para el cálculo de humedad



Fotografía 07. Realización de los análisis granulométricos



Fotografía 08. Cálculo de los pesos y dosificaciones de agregados



Fotografía 09. Secado de las muestras (contenidos de humedad)



Fotografía 10. Tamizado de las muestras de la avenida Tintaya



Fotografía 11. Realización de las muestras para el ensayo



Fotografía 12. Realización del ensayo de compactación de suelos



Fotografía 13. Pesado de las muestras a compactar



Fotografía 14. Preparación de las muestras a compactar





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

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITANTE

Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA

LUGAR

AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

PROGRESIVA

KM 0+500

MUESTRA

CALICATA 1 - MUESTRA 1

FECHA

06 DE MAYO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	94.21
SUELO SECO + TARRO	gr	80.75
PESO DEL TARRO	gr	25.26
PESO DEL AGUA	gr	13.46
PESO DEL SUELO SECO	gr	55.49
HUMEDAD %	%	24.26

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

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	31.43	30.98	31.53
SUELO SECO + TARRO	gr	28.76	28.35	28.21
PESO DEL TARRO	gr	21.94	22.01	21.12
PESO DEL AGUA	gr	2.67	2.63	3.32
PESO DEL SUELO SECO	gr	6.82	6.34	7.09
HUMEDAD %	%	39.15	41.48	46.83
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
18.89	18.65
17.02	17.12
8.89	8.91
1.87	1.53
8.13	8.21
23.00	18.64

LÍMITE LÍQUIDO % : 41.70

LÍMITE PLÁSTICO % : 20.82

ÍNDICE PLÁSTICO % : 20.89

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



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

Mgtr. Arnaldo Yana Torres
DPI 103257

BIE: B006-00296380



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 : ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITANTE : Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA

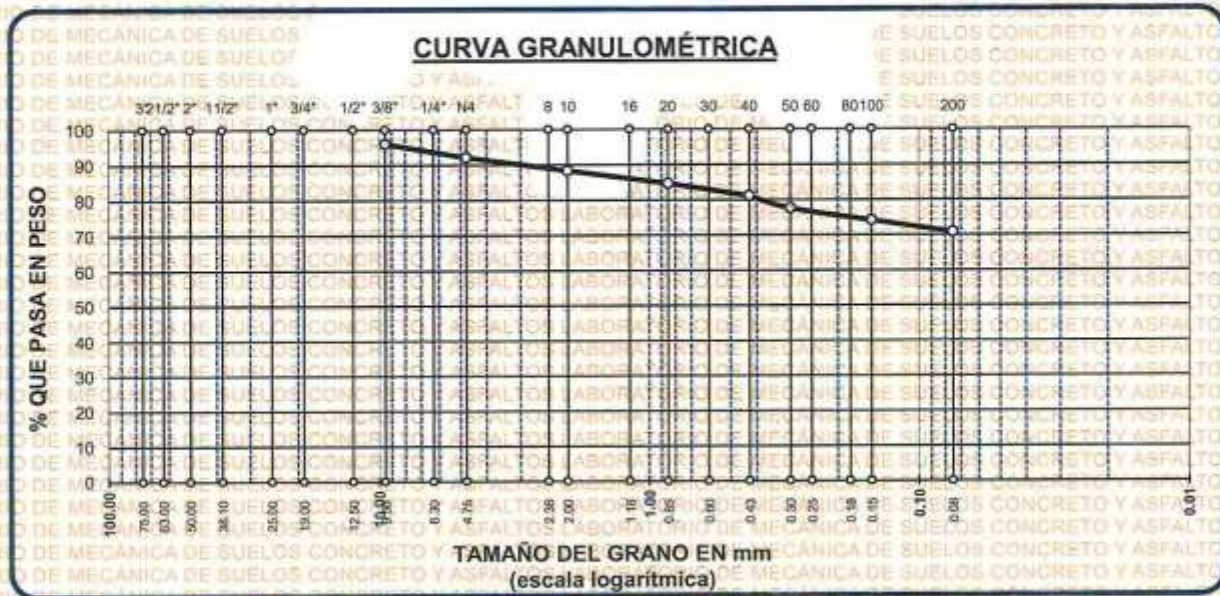
LUGAR : AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

PROGRESIVA : KM 0+500

MUESTRA : CALICATA 1 - MUESTRA 1

FECHA : 06 DE MAYO DEL 2024

TAMICES	ABERTURA	PESO	%RETENIDO	%RETENIDO	% QUE	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO:
ASTM	mm	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.I.= 2500.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 729.37
2"	50.000						P.P.= 1770.63
1 1/2"	38.100						% W = 24.26
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 41.70
1/2"	12.500						L.P.= 20.82
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		I.P.= 20.89
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	96.98	3.88	7.88	92.12		D10= --- Cu= ---
No8	2.360						D30= --- Cc= ---
No10	2.000	94.25	3.77	11.65	88.35		D60= ---
No16	1.180						CLASIFICACIÓN:
No20	0.850	91.12	3.64	15.29	84.71		I.G. = :
No30	0.600						SUCS : CH
No40	0.425	89.45	3.58	18.87	81.13		ASSTHO : A-7
No 50	0.300	87.76	3.51	22.38	77.62		OBSERVACIONES:
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	85.85	3.43	25.82	74.18		
No200	0.075	83.96	3.36	29.17	70.83		
BASE		1770.63	70.83	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA			70.83				



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



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

Nombre: M.S.C. JEFATURA

BIE: B006-00296380



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

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITANTE

Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA

LUGAR

AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

PROGRESIVA

KM 2+500

MUESTRA

CALIGATA 2 - MUESTRA 2

FECHA

06 DE MAYO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	95.65
SUELO SECO + TARRO	gr	82.32
PESO DEL TARRO	gr	25.71
PESO DEL AGUA	gr	13.33
PESO DEL SUELO SECO	gr	56.61
HUMEDAD %	%	23.55

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

LÍMITE LIQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	31.95	31.46	32.15
SUELO SECO + TARRO	gr	29.23	29.19	29.17
PESO DEL TARRO	gr	21.12	22.03	21.19
PESO DEL AGUA	gr	2.72	2.27	2.98
PESO DEL SUELO SECO	gr	8.11	7.16	7.98
HUMEDAD %	%	33.54	31.70	37.34
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
18.35	18.47
17.62	17.32
8.15	8.96
0.73	1.15
9.47	8.36
7.71	13.76

LÍMITE LIQUIDO % : 33.59

LÍMITE PLÁSTICO % : 10.73

INDICE PLÁSTICO % : 22.86

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

Donde:

LL = Límite Líquido

W_n = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



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

Ygori Annelys Yana Torres
 CIP 103247

BIE: 8006-00296380



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: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITANTE: Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA

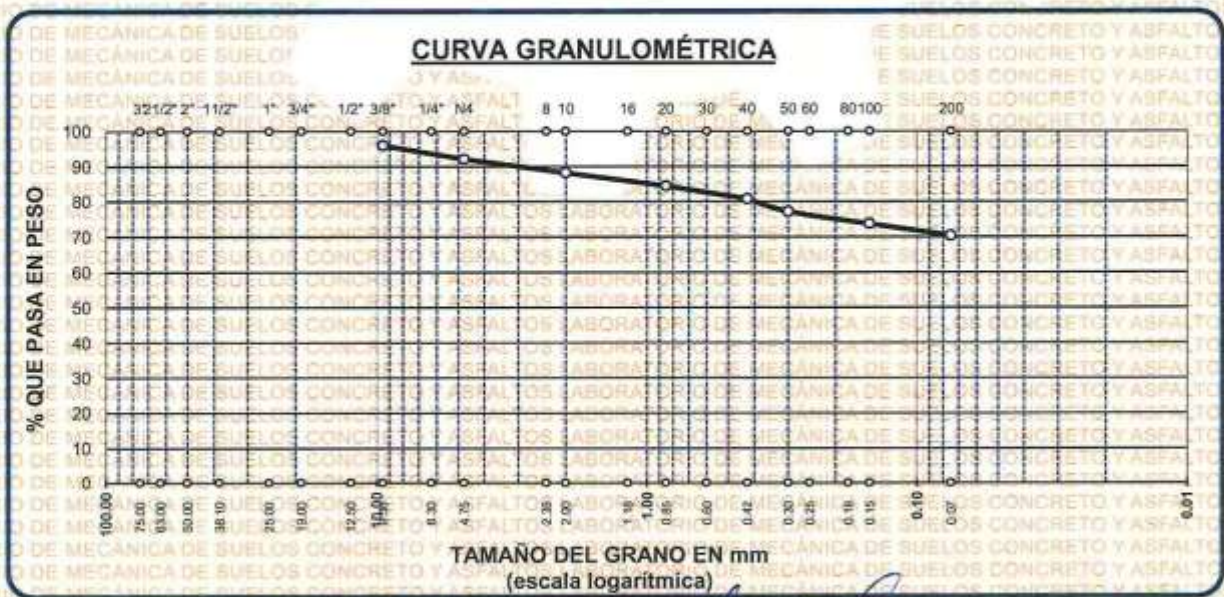
LUGAR: AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

PROGRESIVA: KM 2+500

MUESTRA: CALICATA 2 - MUESTRA 2

FECHA: 06 DE MAYO DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO:
3"	75.000						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2 1/2"	63.000						P.I.= 2500.00
2"	50.000						P.L.= 740.55
1 1/2"	38.100						P.P.= 1759.45
1"	25.000						% w = 24.26
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12.500						L.L.= 41.70
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		L.P.= 20.82
1/4"	6.300						I.P.= 20.89
No4	4.750	98.05	3.92	7.92	92.08		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2.360						D10= --- Cu= ---
No10	2.000	97.55	3.90	11.82	88.18		D30= --- Cc= ---
No16	1.180						
No20	0.850	93.35	3.73	15.56	84.44		CLASIFICACIÓN:
No30	0.600						I.G. = :
No40	0.425	91.95	3.68	19.24	80.76		SUCS : CH
No 50	0.300	89.95	3.60	22.83	77.17		ASSTHO : A-7
No60	0.250						OBSERVACIONES:
No80	0.180						
No100	0.150	87.35	3.49	26.33	73.67		
No200	0.075	82.35	3.29	29.62	70.38		
BASE		1759.45	70.38	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA							



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



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
E.I.C.P. - CIVIL - INGENIERÍA CIVIL
M.S.C.A.
Mgtr. Arnaldo Yana Torres

BIE: B006-00296380

B.N.: B006-00274788



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

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITANTE

Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA

LUGAR

AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

PROGRESIVA

KM 4+500

MUESTRA

CALICATA 3 - MUESTRA 3

FECHA

06 DE MAYO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	97.10
SUELO SECO + TARRO	gr	83.36
PESO DEL TARRO	gr	25.30
PESO DEL AGUA	gr	13.74
PESO DEL SUELO SECO	gr	58.06
HUMEDAD %	%	23.67

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	33.65	32.79	33.46
SUELO SECO + TARRO	gr	30.21	30.02	30.11
PESO DEL TARRO	gr	21.02	22.28	21.79
PESO DEL AGUA	gr	3.44	2.77	3.35
PESO DEL SUELO SECO	gr	9.19	7.74	8.32
HUMEDAD %	%	37.43	35.79	40.26
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
3701.00	20.02
18.27	18.79
8.63	8.95
3682.73	1.23
9.64	9.84
38202.59	12.50

LÍMITE LÍQUIDO % : 37.19

LÍMITE PLÁSTICO % : 19107.55

ÍNDICE PLÁSTICO % : -19070.36

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

Donde:

LL = Límite Líquido

W_n = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



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

Mgtr. Arnaldo Yana Torres
CIP 103257

BIE: B006-00296380



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 : ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITANTE : Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA

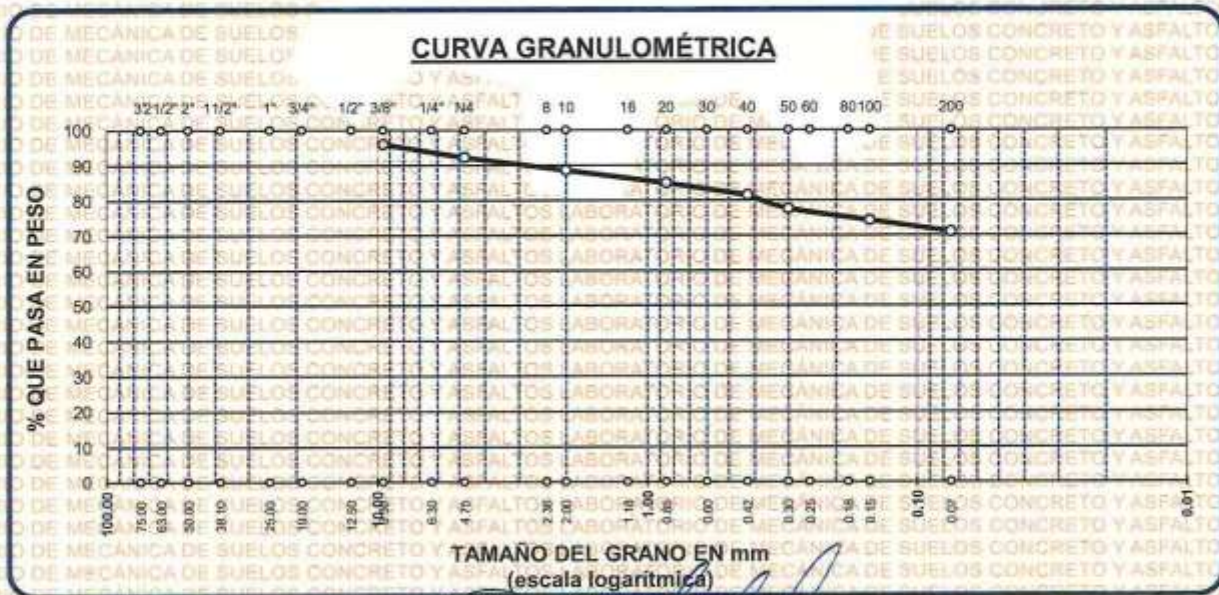
LUGAR : AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

PROGRESIVA : KM 4+500

MUESTRA : CALICATA 3 - MUESTRA 3

FECHA : 06 DE MAYO DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO:
3"	75.000						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2 1/2"	63.000						P.I.= 2500.00
2"	50.000						P.L.= 723.72
1 1/2"	38.100						P.P.= 1776.28
1"	25.000						% w = 24.26
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12.500						L.L.= 41.70
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		L.P.= 20.82
1/4"	6.300						I.P.= 20.89
No4	4.750	95.25	3.81	7.81	92.19		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2.360						D10= --- Cu= ---
No10	2.000	91.75	3.67	11.48	88.52		D30= --- Cc= ---
No16	1.180						
No20	0.850	89.55	3.58	15.06	84.94		CLASIFICACIÓN:
No30	0.600						I.G. = :
No40	0.425	86.15	3.45	18.51	81.49		SUCS : CH
No 50	0.300	96.15	3.85	22.35	77.65		ASSTHO : A-7
No60	0.250						OBSERVACIONES:
No80	0.180						
No100	0.150	83.55	3.34	25.70	74.30		
No200	0.075	81.32	3.25	28.95	71.05		
BASE		1776.28	71.05	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA							



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

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

Ing. Arnoldo Torres

BIE: B006-00296380



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

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITANTE

Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA

LUGAR

AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

PROGRESIVA

KM 0+500

MUESTRA

CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 5% CARBÓN MINERAL + ARENA DE SILICE

FECHA

06 DE MAYO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	94.74
SUELO SECO + TARRO	gr	83.85
PESO DEL TARRO	gr	25.63
PESO DEL AGUA	gr	10.89
PESO DEL SUELO SECO	gr	58.22
HUMEDAD %	%	18.70

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

LÍMITE LIQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	30.85	32.68	31.24
SUELO SECO + TARRO	gr	28.75	29.97	29.38
PESO DEL TARRO	gr	21.44	22.34	21.37
PESO DEL AGUA	gr	2.10	2.71	1.86
PESO DEL SUELO SECO	gr	7.31	7.63	8.01
HUMEDAD %	%	28.73	35.52	23.22
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
19.38	18.66
18.29	17.75
8.67	8.00
1.09	0.91
9.62	9.75
11.33	9.33

LÍMITE LIQUIDO % : 28.83

LÍMITE PLÁSTICO % : 10.33

ÍNDICE PLÁSTICO % : 18.49

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



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

Mgtr. Arnaldo Yana Torres
DIP: 103257

BIE: B006-00296380



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**

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITANTE

Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA

LUGAR

AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

PROGRESIVA

KM 0+500

MUESTRA

CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 10% CARBÓN MINERAL + ARENA DE SILICE

FECHA

06 DE MAYO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	94.76
SUELO SECO + TARRO	gr	83.02
PESO DEL TARRO	gr	25.63
PESO DEL AGUA	gr	11.74
PESO DEL SUELO SECO	gr	57.39
HUMEDAD %	%	20.46

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

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	31.47	32.78	30.76
SUELO SECO + TARRO	gr	29.22	30.52	28.46
PESO DEL TARRO	gr	21.39	22.49	21.69
PESO DEL AGUA	gr	2.25	2.26	2.30
PESO DEL SUELO SECO	gr	7.83	8.03	6.77
HUMEDAD %	%	28.74	28.14	33.97
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
19.36	18.36
17.67	17.74
8.94	8.69
1.69	0.62
8.73	9.05
19.36	6.85

LÍMITE LÍQUIDO % : 29.72

LÍMITE PLÁSTICO % : 13.10

ÍNDICE PLÁSTICO % : 16.62

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

Donde:

LL = Límite Líquido

W_n = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FAC. PROF. INGENIERÍA CIVIL
 Mg. Arnaldo Yana Torres
 CIP 103257

BIE: B006-00296380



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

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

PROYECTO

SOLICITANTE

LUGAR

PROGRESIVA

MUESTRA

FECHA

Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA

AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

KM 0+560

CALICATA 1- MUESTRA T +15% CARBÓN MINERAL + ARENA DE SILICE

06 DE MAYO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	94.45
SUELO SECO + TARRO	gr	83.63
PESO DEL TARRO	gr	25.38
PESO DEL AGUA	gr	10.82
PESO DEL SUELO SECO	gr	58.25
HUMEDAD %	%	18.58

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

LÍMITE LÍQUIDO

LÍMITE PLÁSTICO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	31.74	31.81	32.35
SUELO SECO + TARRO	gr	29.46	29.75	29.74
PESO DEL TARRO	gr	22.81	22.61	21.23
PESO DEL AGUA	gr	2.28	2.06	2.61
PESO DEL SUELO SECO	gr	6.65	7.14	8.51
HUMEDAD %	%	34.29	28.85	30.67
N° DE GOLPES	-	31	24	14

T-14	T-15
18.42	19.35
16.74	17.52
8.41	8.25
1.68	1.83
8.33	9.27
20.17	19.74

LÍMITE LÍQUIDO % : 30.83

LÍMITE PLÁSTICO % : 19.95

ÍNDICE PLÁSTICO % : 10.88

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



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

[Signature]
Ing. Arnaldo Yana Torres
CIP: 103257

BIE: B006-00296380



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	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA		
SOLICITANTE	Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA		
UBICACIÓN	AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA		
PROGRESIVA	KM 0+500		
MUESTRA	CALICATA 1 - MUESTRA 1		
FECHA	06 DE MAYO DEL 2024		

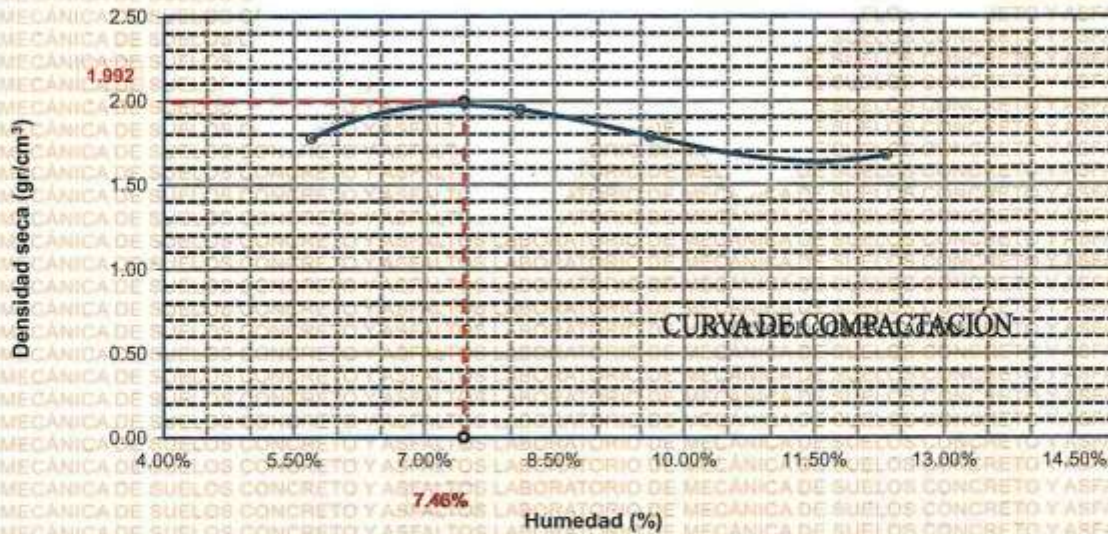
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2108 cm ³
No. DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9942	10422	10114	9955
Peso del Molde	gr.	5985	5985	5985	5985
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	3957	4437	4129	3970
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³	1.877	2.105	1.959	1.883

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	423.41	415.47	442.11	422.36	432.33	415.56	412.42	389.12
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.22	397.26	412.42	396.75	400.87	384.23	367.35	360.35
Peso del Agua	gr.	20.19	18.22	29.69	25.61	31.46	31.33	45.07	28.77
Peso de la Capsula	gr.	62.52	64.63	63.52	64.16	65.21	66.02	64.69	65.74
Peso del Suelo Seco	gr.	340.70	332.62	348.90	332.59	335.66	318.21	302.66	294.61
% de Humedad	%	5.93%	5.48%	8.51%	7.70%	9.37%	9.85%	14.89%	9.77%
Promedio de Humedad	%	5.70%		8.10%		9.61%		12.33%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.776		1.947		1.787		1.677	

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

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



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

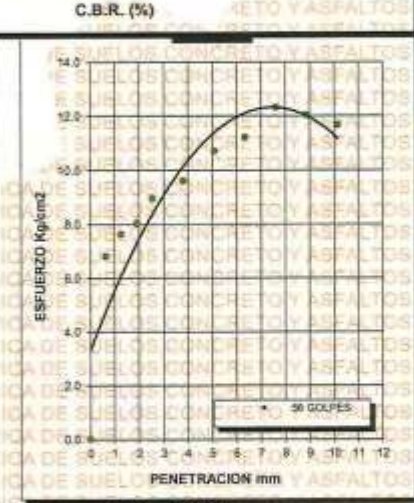
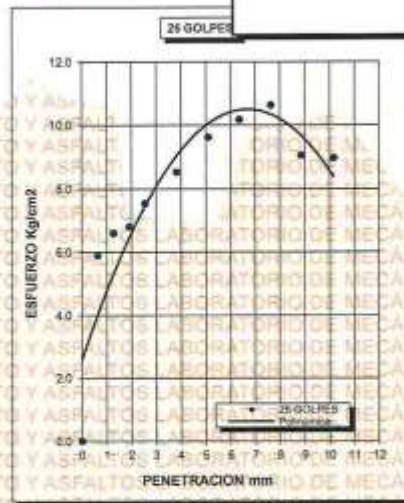
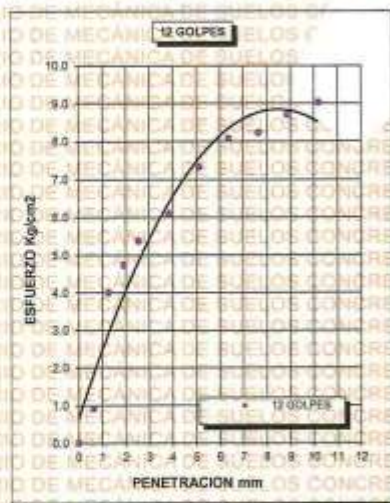
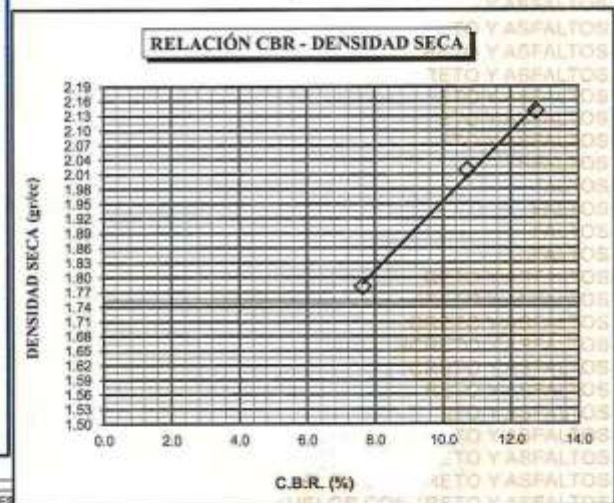
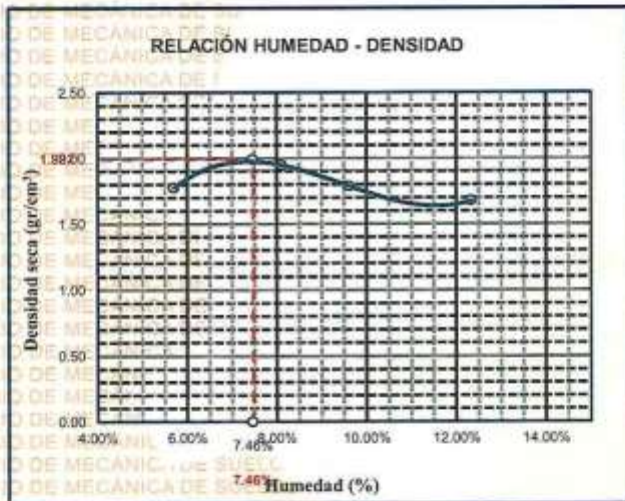
BIE: B006-00296380



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 :	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA"	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1.992
UBICACIÓN :	AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA	HUMEDAD OPTIMA (%) 7.46%
PROGRESIVA :	KM 0+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 12.75
MUESTRA :	CALICATA - M1	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 10.72
FECHA :	06 DE MAYO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



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

[Signature]
Mg. Amanda Yana Torres
CIP 103257

BIE: B006-00296380



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	: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA.
SOLICITANTE	: Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA
UBICACIÓN	: AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA
PROGRESIVA	: KM 2+500
MUESTRA	: CALICATA 2 - MUESTRA 2
FECHA	: 06 DE MAYO DEL 2024

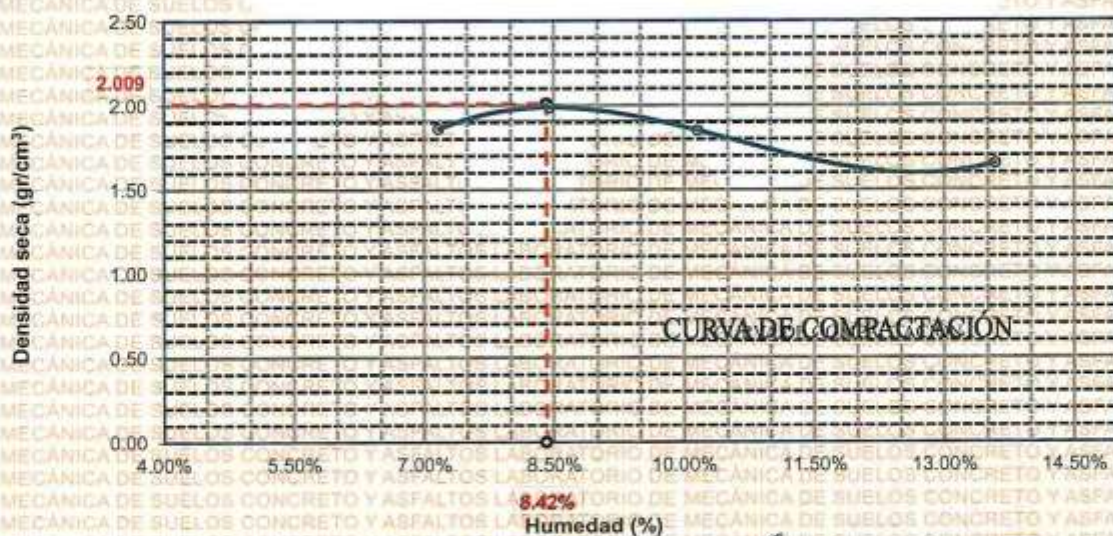
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2110 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10178	10524	10274	9936
Peso del Molde	gr.	5974	5974	5974	5974
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4204	4550	4300	3962
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1.992	2.156	2.038	1.878

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	420.74	410.41	445.78	420.25	432.52	419.67	405.78	390.32
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	395.24	388.71	415.58	392.74	399.75	382.45	354.47	362.25
Peso del Agua	gr.	25.50	21.70	30.20	27.51	32.77	33.22	51.31	28.07
Peso de la Capsula	gr.	62.25	63.65	62.41	63.36	66.25	65.75	65.12	65.11
Peso del Suelo Seco	gr.	332.99	325.06	353.17	329.38	333.50	316.70	289.35	297.14
% de Humedad	%	7.66%	6.68%	8.55%	8.35%	9.83%	10.49%	17.73%	9.45%
Promedio de Humedad	%	7.17%		8.45%		10.16%		13.59%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.859		1.988		1.850		1.653	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 2.009 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 8.42%

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

[Firma]
Ing. Arnelo Yana Torres
CIP. 103257

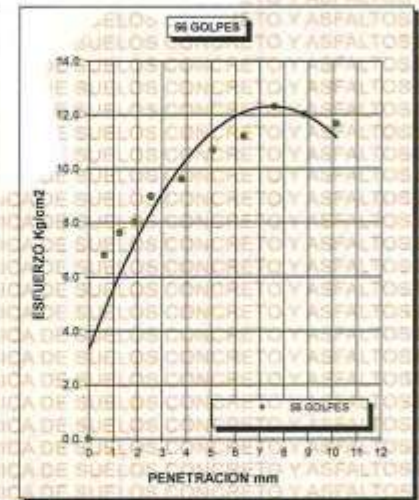
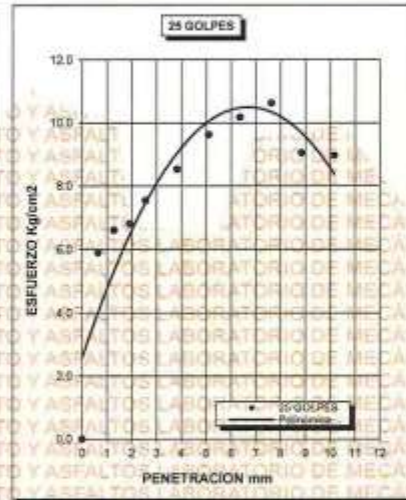
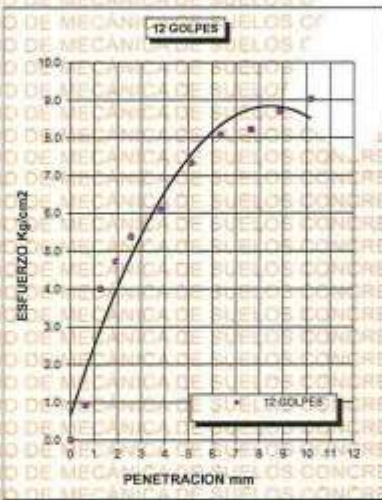
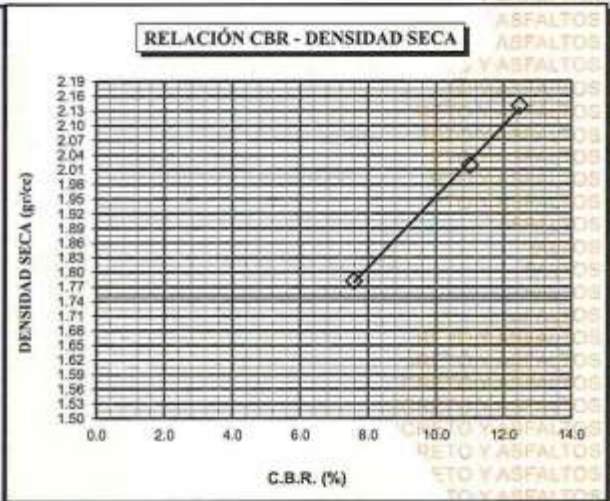
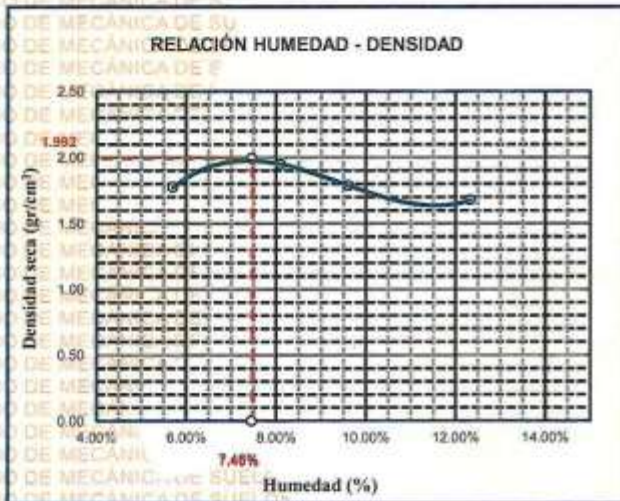
BIE: B006-00296380



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 :	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA"	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3.) 2.009
UBICACIÓN :	AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA	HUMEDAD OPTIMA (%) 8.42%
PROGRESIVA :	KM 2+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 12.47
MUESTRA :	CALICATA - M2	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 11.00
FECHA :	06 DE MAYO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO M.S.C.A.
Mg. Arnulfo Yana Torres
C.P. 103257

BIE: B006-00296380



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	: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACION DE GENIZA DE CARBON MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITANTE	: Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA
UBICACIÓN	: AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA
PROGRESIVA	: KM 4+500
MUESTRA	: CALICATA 3 - MUESTRA 3
FECHA	: 06 DE MAYO DEL 2024

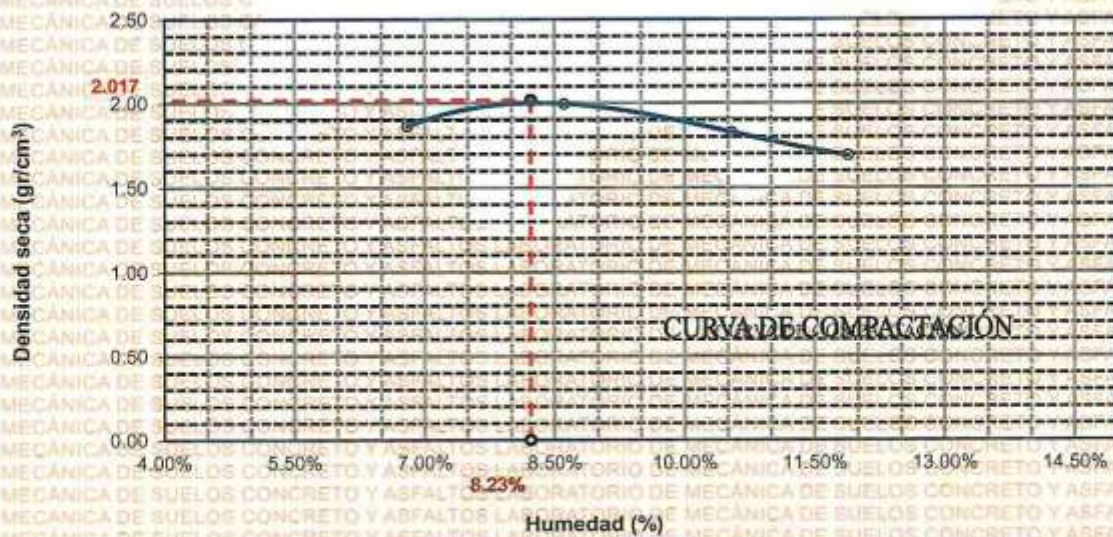
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2105 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	10169	10545	10235	9963
Peso del Molde	gr.	5982	5982	5982	5982
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4187	4563	4253	3981
Densidad del Suelo-Húmedo	gr/cm ³ .	1.989	2.168	2.020	1.891

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	425.75	415.77	438.66	420.82	425.72	416.36	406.83	392.63
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.74	392.36	413.56	388.31	392.25	382.14	363.25	365.21
Peso del Agua	gr.	22.01	23.41	25.10	32.51	33.47	34.22	43.38	27.42
Peso de la Capsula	gr.	62.62	64.75	63.77	64.71	65.14	66.74	66.75	66.88
Peso del Suelo Seco	gr.	341.12	327.61	349.79	323.60	327.11	315.40	297.50	298.33
% de Humedad	%	6.45%	7.15%	7.18%	10.05%	10.23%	10.85%	14.58%	9.19%
Promedio de Humedad	%	6.80%		8.61%		10.54%		11.89%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.862		1.996		1.828		1.690	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 2.017 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 8.23%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
 JULIACA
 Ing. Arnuldo Inna Torres
 CIP 103257

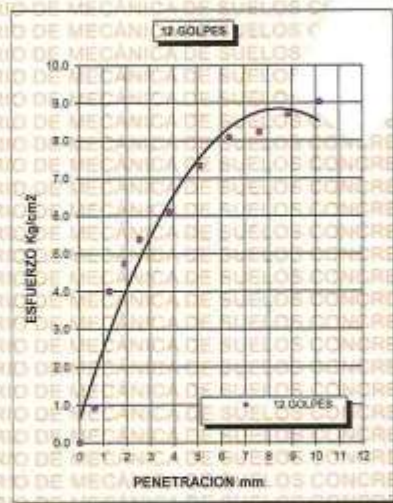
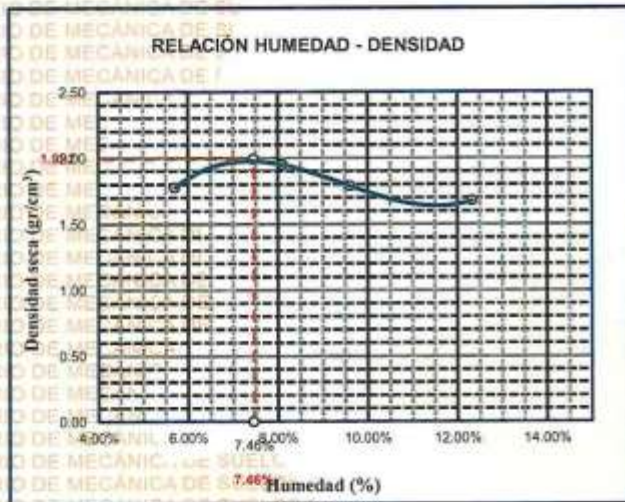
BIE: 8006-00296380



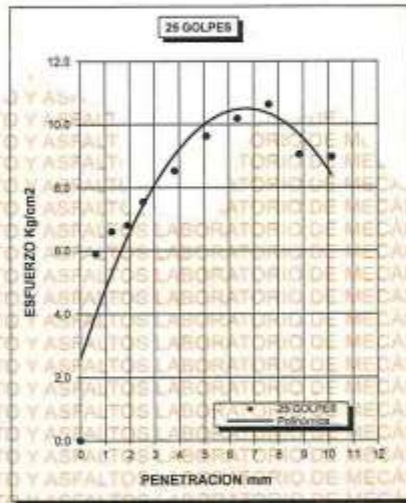
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



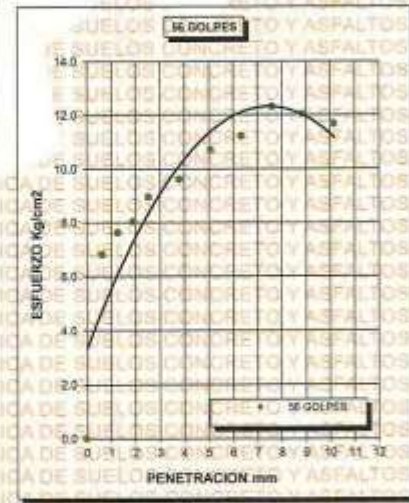
PROYECTO	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA"	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO	Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 2.017
UBICACIÓN	AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA	HUMEDAD OPTIMA (%) 8.23%
PROGRESIVA	KM 4+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 13.19
MUESTRA	CALICATA - M3	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 10.44
FECHA	06 DE MAYO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



CBR 7.70



CBR 10.44



CBR 13.19

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 M.Sc. Amalindo Tena Torres
 CIP 103257

BIE: 8006-00296380



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

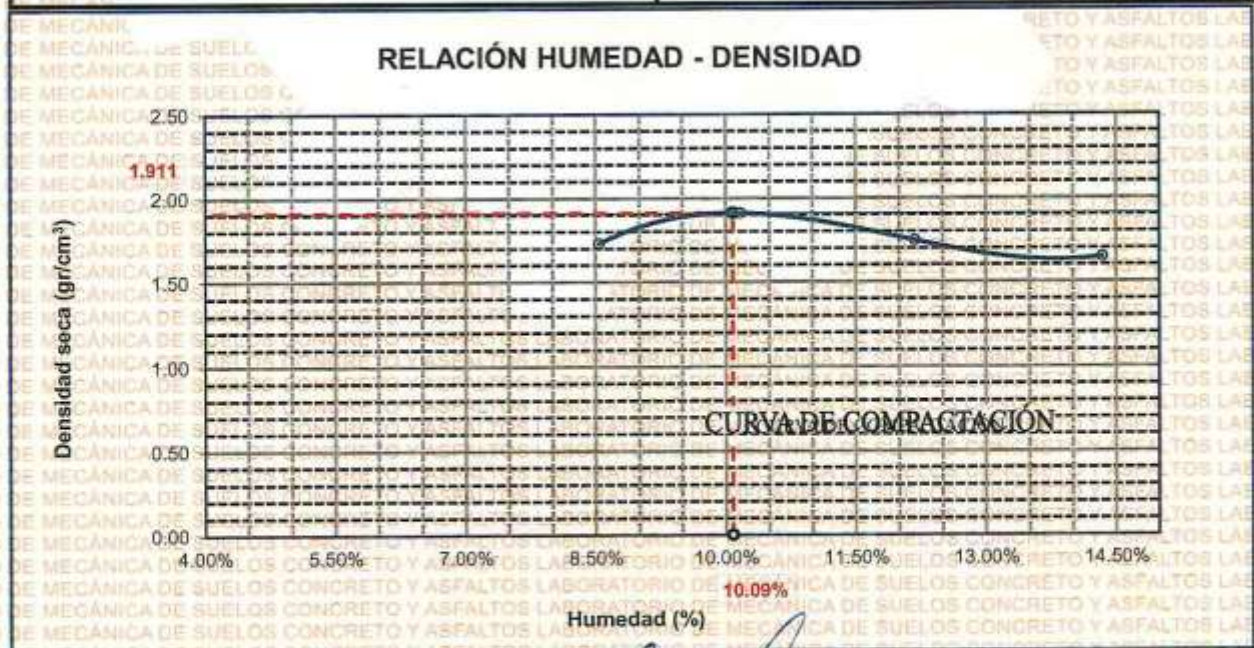
TESIS	: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACION DE GENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITANTE	: Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA
UBICACIÓN	: AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA
PROGRESIVA	: KM 0+500
MUESTRA	: CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 5% CARBÓN MINERAL + ARENA DE SILICE
FECHA	: 06 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2106 -cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9942	10422	10114	9955
Peso del Molde	gr.	5985	5985	5985	5985
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	3957	4437	4129	3970
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1.877	2.105	1.959	1.883

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	428.41	429.47	450.11	427.36	444.33	420.56	417.42	396.12
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.22	397.25	412.42	395.75	400.87	384.23	387.35	360.35
Peso del Agua	gr.	25.19	32.22	37.69	31.61	43.46	36.33	50.07	35.77
Peso de la Capsula	gr.	62.52	64.63	63.52	64.16	65.21	66.02	64.69	65.74
Peso del Suelo Seco	gr.	340.70	332.62	348.90	331.59	335.66	318.21	302.66	294.61
% de Humedad	%	7.39%	9.69%	10.80%	9.53%	12.95%	11.42%	16.54%	12.14%
Promedio de Humedad	%	8.54%		10.17%		12.18%		14.34%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.729		1.911		1.746		1.647	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.911 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 10.09%



Ing. Arnaldo Yana Torres
 C.P. 103257



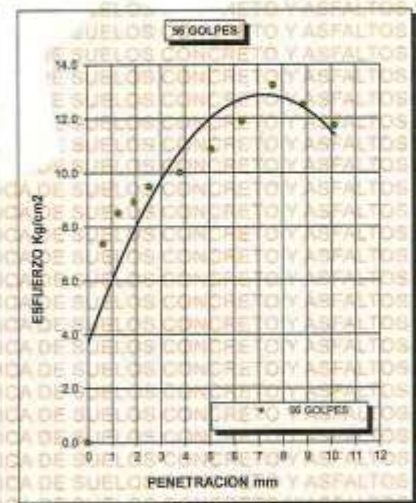
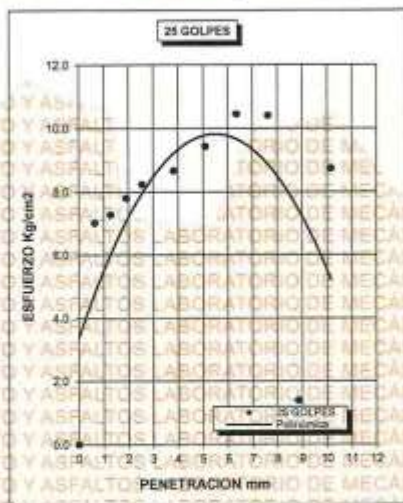
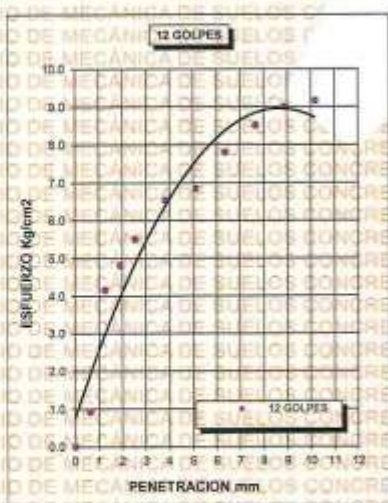
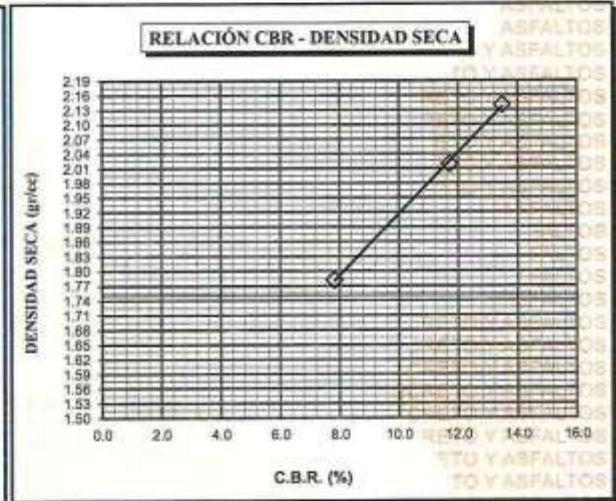
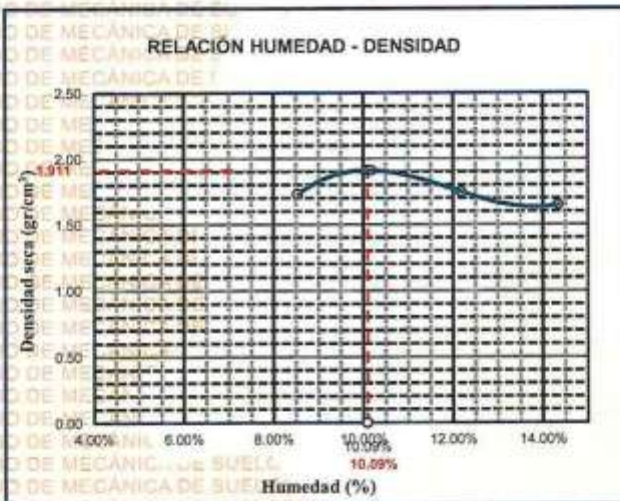
BIE: B006-00296380



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 :	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SÍLICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA"	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) 1.911
UBICACIÓN :	AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA	HUMEDAD OPTIMA (%) 10.09%
PROGRESIVA :	KM 0+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 13.48
MUESTRA :	CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 5% CARBÓN MINERAL + ARENA DE SÍLICE	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 11.70
FECHA :	06 DE MAYO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



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

[Signature]
Mgtr. Arnaldo Iana Torres
CIP: 103257

LABORATORIO M.S.C.A. JULIACA

BIE: B006-00296380



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	: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITANTE	: Bach: JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA
UBICACIÓN	: AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA
PROGRESIVA	: KM D+500
MUESTRA	: CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 10% CARBÓN MINERAL + ARENA DE SILICE
FECHA	: 06 DE MAYO DEL 2024

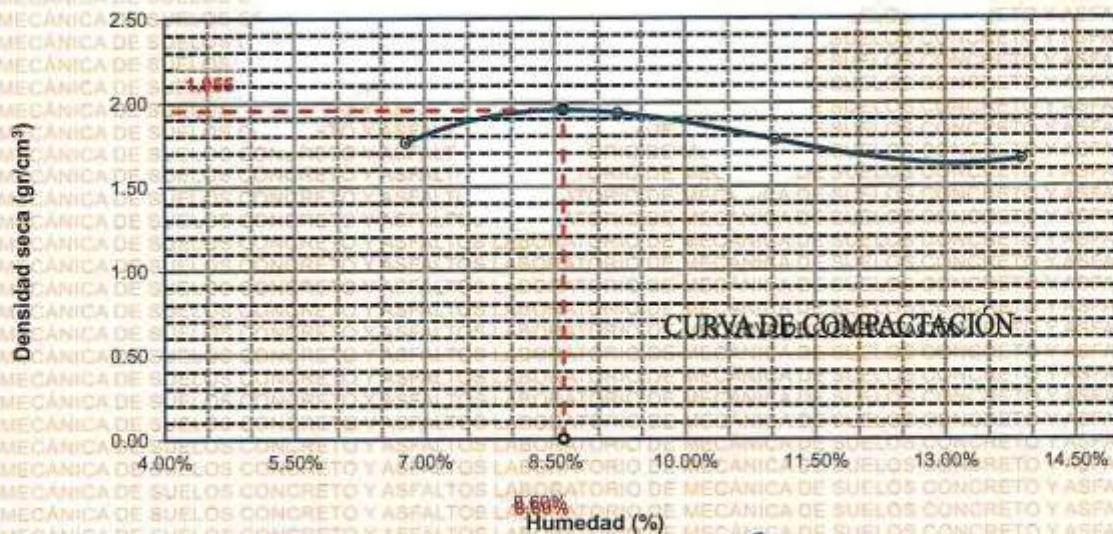
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2104 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9937	10436	10132	9963
Peso del Molde	gr.	5982	5982	5982	5982
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	3955	4454	4150	3981
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1.880	2.117	1.972	1.892

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	427.21	419.41	445.28	426.65	433.28	423.32	417.65	386.65
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.31	397.56	412.36	396.63	400.22	384.47	367.65	354.14
Peso del Agua	gr.	23.90	21.85	32.90	30.02	33.04	38.85	60.00	32.51
Peso de la Capsula	gr.	62.35	64.15	63.54	64.13	65.86	66.36	64.52	65.35
Peso del Suelo Seco	gr.	340.96	333.41	348.82	332.50	334.36	318.11	303.13	288.79
% de Humedad	%	7.01%	6.55%	9.43%	9.03%	9.88%	12.21%	16.49%	11.26%
Promedio de Humedad	%	6.78%		9.23%		11.05%		13.88%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.760		1.938		1.776		1.662	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.955 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 8.60%

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
 Mtro. Arnaldo Yana Torres
 CIP 103257

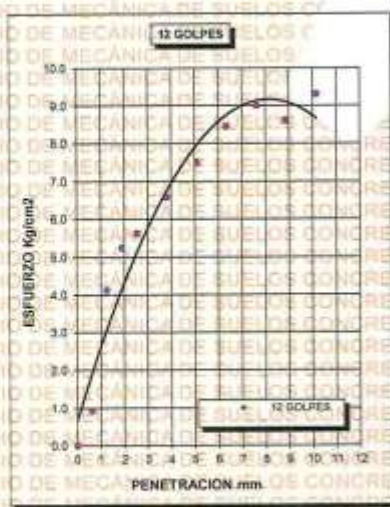
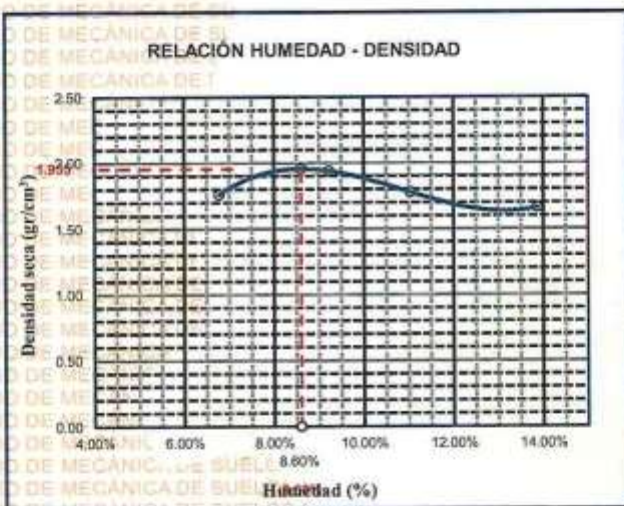
BIE: B006-00296380



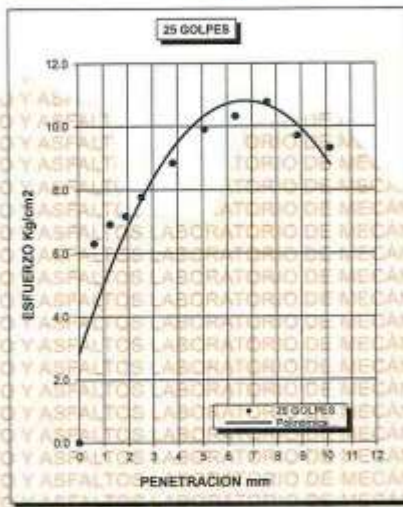
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



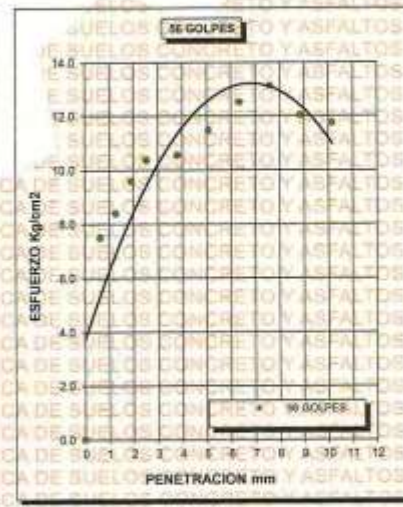
PROYECTO :	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA"	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1.955
UBICACIÓN :	AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA	HUMEDAD OPTIMA (%) 8.60%
PROGRESIVA :	KM 0+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 14.75
MUESTRA :	CALICATA - M1 + 10% CARBÓN MINERAL + ARENA DE SILICE	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 11.03
FECHA :	06 DE MAYO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



CBR 7.98



CBR 11.03



CBR 14.75

Miguel Ángel Torres
CIP: 103257

BIE: B006-00296380



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	: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACION DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITANTE	: Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA
UBICACIÓN	: AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA
PROGRESIVA	: KM 0+500
MUESTRA	: CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 15% CARBÓN MINERAL + ARENA DE SILICE
FECHA	: 06 DE MAYO DEL 2024

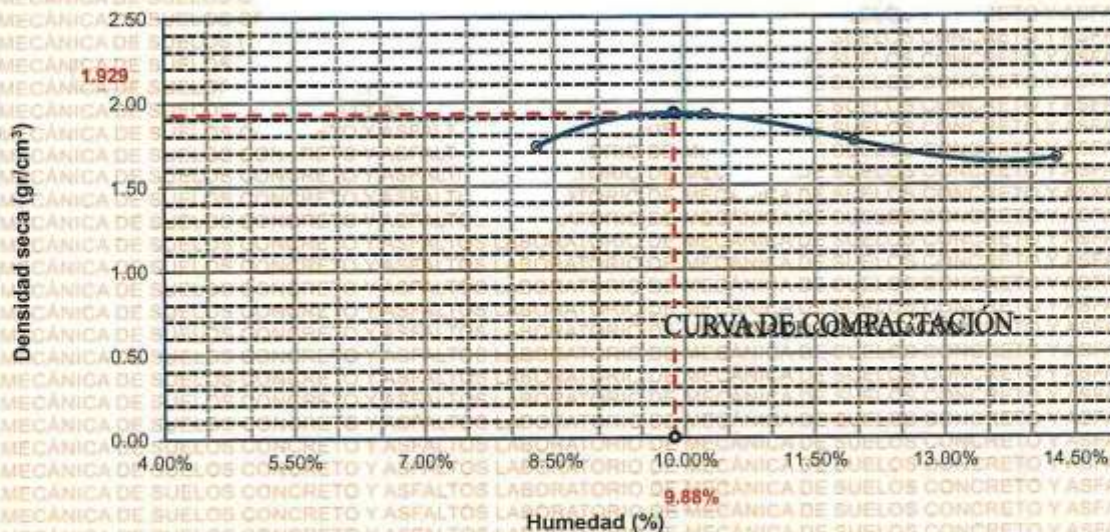
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2104 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9937	10436	10132	9963
Peso del Molde	gr.	5982	5982	5982	5982
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	3955	4454	4150	3981
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1.880	2.117	1.972	1.892

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	431.21	422.41	450.26	428.65	437.26	425.32	420.65	400.85
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	400.31	397.56	412.36	396.63	400.22	384.47	367.65	367.14
Peso del Agua	gr.	30.90	24.85	37.90	32.02	37.04	40.85	53.00	33.51
Peso de la Capsula	gr.	62.35	64.15	63.54	64.13	65.86	68.36	64.52	65.35
Peso del Suelo Seco	gr.	337.96	333.41	348.82	332.50	334.36	318.11	303.13	301.79
% de Humedad	%	9.14%	7.45%	10.87%	9.63%	11.08%	12.84%	17.48%	11.10%
Promedio de Humedad	%	8.30%		10.25%		11.96%		14.29%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.736		1.920		1.762		1.655	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.929 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 9.88%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CIP. INGENIERÍA CIVIL
Mag. Arnoldo Yana Torres
CIP. 103257

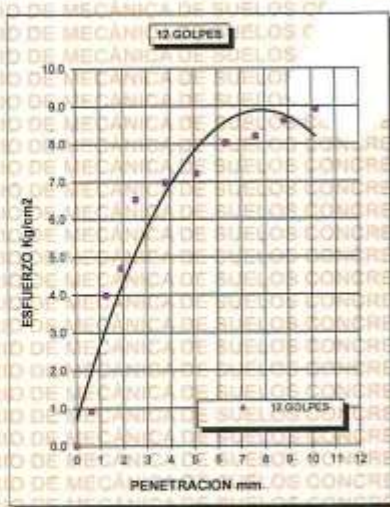
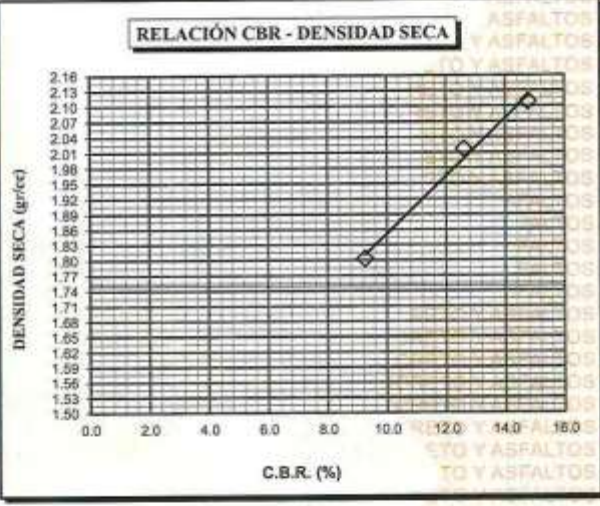
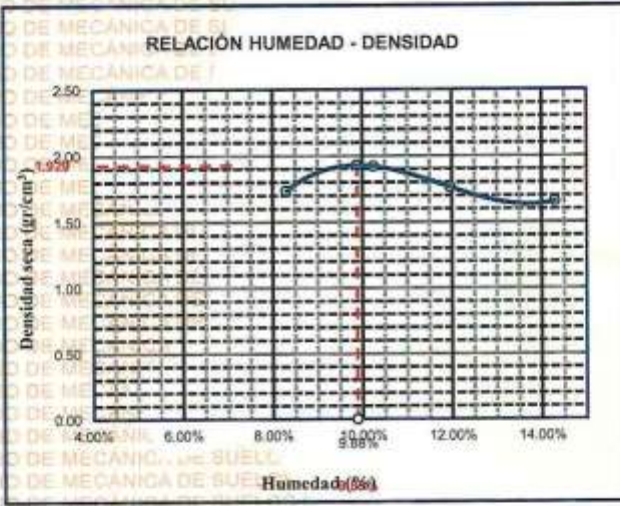
BIE: B006-00296380



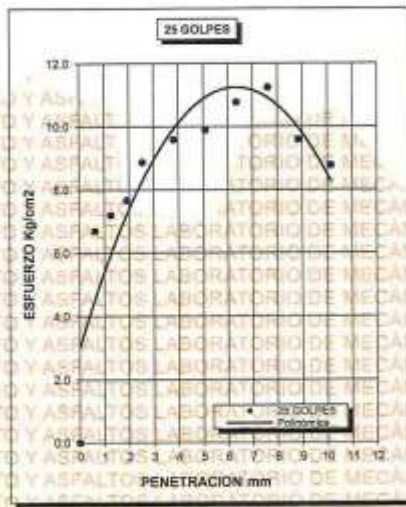
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



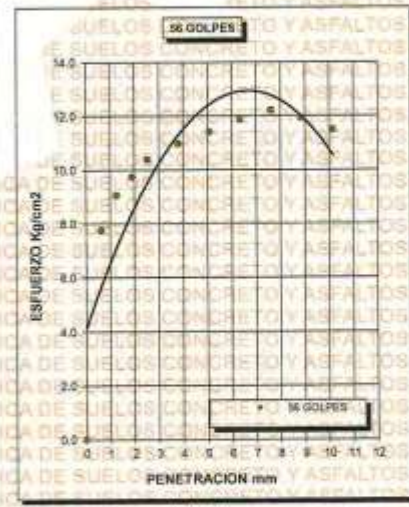
PROYECTO	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SÍLICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA"	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO	Bach. JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) 1.929
UBICACIÓN	AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA	HUMEDAD OPTIMA (%) 9.88%
PROGRESIVA	KM 0+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 14.78
MUESTRA	CALICATA - M1 + 15% CARBÓN MINERAL + ARENA DE SÍLICE	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 4.72
FECHA	06 DE MAYO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



CBR 9.27



CBR 12.62



CBR 14.78

[Firma manuscrita]
 M.S.C.A. J. ESPINOZA
 JULIACA
 INVESTIGADORA
 FICP - C. INGENIERÍA CIVIL
 Mgtr. Arnaldo Yana Torres
 CP 103257

BIE: B006-00296380



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 22-08-2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: JOHN WILBER VELASQUEZ MAITA

Dirección: Jr. VILLARREAL C-11 Urb. COLONIA MOHEÑA

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70610675

Teléfono: 966 119 391 email: john.velasquez.maita@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: Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL Y ARENA DE SILICE EN LA AVENIDA TINTAYA DE LA CIUDAD DE JULIACA

Palabras claves, (3 a 5 términos): CENIZA, PROPIEDADES DEL SUELO, SUBRASANTE, ARENA DE SÍLICE

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

1

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

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



2. Referencia de tesis:

- Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

Autorizo su publicación (marque con una X)

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

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

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

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

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

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

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

- Internacional
- Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P17

Firma de Autor



huella digital

22-08-2024

Fecha