



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



**INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA  
Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA  
LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN  
VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO**

TESIS PRESENTADA POR:

**Bach. WILSON DAVID CHOQUE GONZALO**

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

JULIACA - PERÚ

2024



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

**INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA  
Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA  
LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN  
VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. WILSON DAVID CHOQUE GONZALO**

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

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**

**PRESIDENTE**

:   
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

**PRIMER MIEMBRO**

:   
Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

**SEGUNDO MIEMBRO**

:   
Mgtr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS

**ASESOR DE TESIS**

:   
Mgtr. ARNALDO YANA TORRES

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



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 658-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 17 de julio del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU- 9077 presentado por el (la) Bachiller: **WILSON DAVID CHOQUE GONZALO** 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. **WILSON DAVID CHOQUE GONZALO**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

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

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

**RESUELVE:**

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

- \* **Presidente** : Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
- \* **1er Miembro** : Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
- \* **2do Miembro** : Mgtr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS

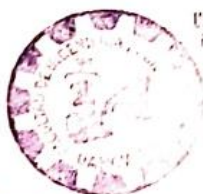
**ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER** como asesor de la propuesta de investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Mgtr. ARNALDO YANA TORRES**.

**ARTICULO TERCERO. - APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **WILSON DAVID CHOQUE GONZALO**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : Miercoles 24 de julio del 2024
- \* **HORA** : 8:00 a.m.
- \* **LUGAR** : Aula 406 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
(C.I. 47750)



EFRAIN PARILLO SOSA  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 406-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 10 de junio del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU - 5906 por el o (la) Bachiller: **WILSON DAVID CHOQUE GONZALO** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 407 - 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 077 - 2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el o (la) Bachiller: **WILSON DAVID CHOQUE GONZALO**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO**, 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° 077 - 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO**, 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: **WILSON DAVID CHOQUE GONZALO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO** 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. ARNALDO YANA TORRES**.

**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.

cc.  
Archivo  
interesado (a)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 125-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 08 de abril del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU-01095, presentado por el señor (a) **WILSON DAVID CHOQUE GONZALO** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 099 -2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 50-2024 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: **WILSON DAVID CHOQUE GONZALO** ha presentado su propuesta de investigación **Titulado: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 50-2024- aprobando la propuesta de investigación **titulado: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO**.

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: **WILSON DAVID CHOQUE GONZALO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema **Titulado: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO** 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. ARNALDO YANA TORRES**.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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



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

cc.  
Archivo 2021  
Interesado (a)



## INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO

### INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

14%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	6%
2	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	www.redalyc.org Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%



## Metadatos Complementarios UANCV

<b>Título de la tesis</b>	
INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	WILSON DAVID CHOQUE GONZALO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	77911774
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0006-2704-2472">https://orcid.org/0009-0006-2704-2472</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6740-5024">https://orcid.org/0000-0002-6740-5024</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	MILTHON QUISPE HUANCA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02416058
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	01316765
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Recursos propios
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú          Departamento: Puno          Provincia: Puno          Distrito: Tiquillaca</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Latitud: S 15° 47' 51''</li> <li>- Longitud: O 70° 11' 22''</li> </ul>  <p><a href="https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1Tmx BQy-xuh 2auTS-ebMRkoNCaQkufE&amp;usp=sharing">https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1Tmx BQy-xuh 2auTS-ebMRkoNCaQkufE&amp;usp=sharing</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Abril 2024 – Julio 2024
URL de disciplinas OCDE	<p>Ingeniería de la construcción  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00</a></p> <p>Ingeniería civil  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a></p>
<p><a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a></p> <p>- Librería</p>	



UNIVERSIDAD DINA MESTOR CACERES YERONQUEZ  
 FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
 DIRECTOR  
 Dr. Efraín Parillo Sosa  
 DIRECTOR  
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo WILSON DAVID CHOQUE GONZALO, identificado con DNI Nro. 77911774, en mi condición de egresado de:

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

INGENIERÍA CIVIL

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

" INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROUINCA DE PUNO "

Asesorado por: Mgtr. ARNALDO YANA TORRES

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 13 de AGOSTO del 2024

Firma del Asesor

Firma del Estudiante



Huella



## DEDICATORIA

*A mis padres, quienes han sido el faro que ha iluminado cada paso de mi camino. Su amor incondicional ha sido la fuerza que me ha sostenido en los momentos de duda, y su sabiduría, el consejo que me ha guiado en las decisiones más difíciles. Desde mis primeros pasos hasta este logro, han sido mi mayor ejemplo de dedicación, trabajo duro y perseverancia. No existen palabras que puedan expresar toda la gratitud que siento por todo lo que han hecho por mí, desde los sacrificios innumerables hasta el constante apoyo, tanto emocional como material. Ustedes son, sin duda, el cimiento sobre el cual he construido mi vida y esta tesis es un reflejo del amor y el esfuerzo que han invertido en mí.*

*A mis hermanas, por ser mis compañeras de vida, mis amigas más leales y mi mayor fuente de inspiración. En ustedes he encontrado la fuerza para seguir adelante, la motivación para no rendirme, y la alegría que siempre me recuerda lo valioso que es este camino. Han estado a mi lado en los momentos de alegría y también en los de dificultad, brindándome su apoyo incondicional y su comprensión. Gracias por las risas compartidas, los consejos sinceros y el cariño inagotable que siempre me han demostrado. Esta tesis también es suya, porque sin su compañía y aliento, el camino habría sido mucho más difícil. Estoy profundamente agradecido por tenerlas en mi vida.*



### AGRADECIMIENTOS

*Te agradezco Dios por tus innumerables bendiciones, por tu amor infinito y por la oportunidad de vivir cada día.*

*Agradezco a toda mi familia, por estar siempre presente, por sus palabras de aliento, y por ser una fuente constante de motivación y fortaleza. Cada uno de ustedes ha contribuido de manera significativa a la realización de este logro, y por ello, les estoy eternamente agradecido.*

*Quiero extender mi más sincero agradecimiento a mis amigos, compañeros y a todos, quienes han sido una parte de este viaje académico.*



ÍNDICE

DEDICATORIA ..... i

AGRADECIMIENTOS ..... ii

ÍNDICE DE TABLAS ..... vi

ÍNDICE FIGURAS ..... vii

RESUMEN ..... viii

ABSTRACT ..... ix

INTRODUCCIÓN ..... x

CAPITULO I EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN ..... 11

    1.1 Descripción de la realidad problemática ..... 11

    1.2 Planteamiento del problema ..... 12

        1.2.1 Problema general ..... 12

        1.2.2 Problemas específicos ..... 12

    1.3 Justificación de la investigación ..... 12

        1.3.1 Justificación teórica ..... 12

        1.3.2 Justificación practica ..... 13

        1.3.3 Justificación económica ..... 13

        1.3.4 Justificación metodología ..... 13

    1.4 Objetivos ..... 13

        1.4.1 Objetivo general ..... 13

        1.4.2 Objetivos específicos ..... 14

    1.5 Hipótesis ..... 14

        1.5.1 Hipótesis general ..... 14

        1.5.2 Hipótesis específicas ..... 14

    1.6 Variables e indicadores ..... 14

        1.1 Operacionalización de variables ..... 15

CAPITULO II LA TEORIA REFERENCIAL ..... 16

    2.1 Informes de la investigación ..... 16

        2.1.1 Referencias internacionales ..... 16

        2.1.2 Antecedentes nacionales ..... 18

    2.2 Marco teórico ..... 19

        2.2.1 Carreteras o vías no pavimentadas ..... 19

        2.2.2 Suelos ..... 21



2.2.3	Clasificación de suelos.....	21
2.2.4	Estabilización de suelos .....	23
2.2.5	Ensayos de materiales en laboratorio según las normas .....	27
2.2.6	Subrasante .....	32
2.2.7	Caracterización de la subrasante .....	32
2.2.8	Estabilización de la subrasante .....	33
2.2.9	Subrasante mejorada .....	34
2.3	Marco conceptual .....	35
<b>CAPITULO III METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>		<b>40</b>
3.1	Diseño de la investigación .....	40
3.1.1	Nivel de investigación.....	40
3.1.2	Tipo de investigación .....	40
3.1.3	Método de investigación .....	41
3.1.4	Enfoque de investigación .....	41
3.2	Población y muestra .....	41
3.2.1	Población.....	41
3.2.2	Muestra.....	41
3.2.3	Diseño muestral.....	41
3.3	Espacio de estudio.....	42
3.3.1	Lugar del área en estudio .....	42
3.3.2	Descripción del área de estudio .....	42
3.3.3	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	42
3.3.4	Obtención de muestras representativas. ....	44
3.3.5	Pruebas de las propiedades mecánicas y físicas de la subrasante estabilizada.....	44
3.3.6	Elaboración en laboratorio de mecánica de suelos .....	45
<b>CAPITULO IV ANALISIS Y RESULTADOS .....</b>		<b>53</b>
4.1	Presentación de resultados de la investigación .....	53
4.2	Resultados de la carretera Tiquillaca – Quilicane.....	54
4.2.1	Contenido de humedad.....	54
4.2.2	Análisis granulométrico .....	54
4.2.3	Límites de Atterberg .....	57
	Límites de Atterberg .....	57



4.2.4	Equivalente de arena .....	58
4.2.5	Índice de grupo.....	59
4.2.6	Clasificación de los suelos .....	59
4.2.7	Ensayo Proctor .....	62
4.2.8	California Bearing Ratio .....	64
4.2.9	Dosificación de la mezcla de grava y arcilla.....	64
4.2.10	Valor relativo de soporte de la mezcla grava y arcilla .....	64
4.3	Discusión de los resultados .....	66
CONCLUSIONES .....		67
RECOMENDACIONES.....		68
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....		69
ANEXOS .....		72



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de variables .....	15
<b>Tabla 2.</b> Red vial del sistema nacional por superficie de rodadura .....	20
<b>Tabla 3.</b> Clasificación. ....	21
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de Suelos según SUCS .....	22
<b>Tabla 5.</b> Categorización según AASTHO.....	23
<b>Tabla 6.</b> Tipos de suelos y medidas de estabilización. ....	26
<b>Tabla 7.</b> Estabilización recomendable en función a tipo de suelo. ....	26
<b>Tabla 8.</b> Categorización de suelos según el Índice de Plasticidad.....	29
<b>Tabla 9.</b> Categorización del suelo según Equivalente de Arena.....	29
<b>Tabla 10.</b> Categorías de Subrasante en función del CBR. ....	32
<b>Tabla 11.</b> Número de ensayos Mr y CBR.....	33
<b>Tabla 12.</b> Metodologías químicas de acuerdo al tipo de suelo. ....	34
<b>Tabla 13.</b> Calicatas extraídas. ....	42
<b>Tabla 14.</b> Dosificaciones para Subrasante Estabilizada con grava y arcilla.....	44
<b>Tabla 15.</b> Resumen de contenido de humedad .....	54
<b>Tabla 16.</b> Resumen del análisis granulométrico .....	54
<b>Tabla 17.</b> Resumen de Límites de Atterberg .....	57
<b>Tabla 18.</b> Resumen de equivalente de arena.....	59
<b>Tabla 19.</b> Resumen del índice de grupo.....	59
<b>Tabla 20.</b> Resumen de clasificación de suelos.....	60
<b>Tabla 21.</b> Clasificación de suelos según SUCS .....	60
<b>Tabla 22.</b> Clasificación de suelos según ASSTHO.....	61
<b>Tabla 23.</b> Resumen del ensayo de Proctor.....	62
<b>Tabla 24.</b> Resumen del ensayo de CBR.....	64
<b>Tabla 25.</b> Resumen del valor relativo (CBR) de la mezcla de grava y Arcila....	65



## ÍNDICE FIGURAS

**Figura 1.** Formas de lograr la estabilización..... 24

**Figura 2.** Estabilización de suelos por combinación ..... 25

**Figura 3.** Herramienta de Proctor M..... 30

**Figura 4.** Curva humedad - densidad seca ..... 31

**Figura 5.** Proceso de compactación de la subrasante mejorada..... 35

**Figura 6.** Visualización de la C - 1 ..... 43

**Figura 7.** Visualización de la C - 2 ..... 43

**Figura 8.** Visualización de la C - 3 ..... 43

**Figura 9.** Muestras en el Horno ..... 45

**Figura 10.** Tamizado de las muestras del suelo ..... 46

**Figura 11.** Ensayo de Limite Liquido ..... 47

**Figura 12.** Ensayo de Limite Plastico ..... 48

**Figura 13.** Ensayo de equivalente de arena ..... 50

**Figura 14.** Ensayo de Proctor ..... 51

**Figura 15.** Compactando la Muestra..... 52

**Figura 16.** Curva granulométrica C - 1 ..... 55

**Figura 17.** Curva granulométrica C - 2..... 56

**Figura 18.** Curva granulométrica C - 3 ..... 56

**Figura 19.** Grafica del límite liquido C - 1 ..... 57

**Figura 20.** Grafica del límite liquido C - 2 ..... 58

**Figura 21.** Grafica del límite liquido C - 3 ..... 58

**Figura 22.** Ensayo de Proctor C - 1 ..... 62

**Figura 23.** Ensayo de Proctor C - 2 ..... 63

**Figura 24.** Ensayo de Proctor C - 3 ..... 63

**Figura 25.** Grafica de máxima densidad seca ..... 65

**Figura 26.** CBR de la mezcla de Grava y Arcilla ..... 65



## RESUMEN

El objetivo de la tesis "Influencia de la Mezcla de Grava y Arcilla en el Valor Relativo de Soporte para la Estabilización de Subrasantes en Carreteras de la Provincia de Puno", es determinar el valor relativo de soporte del suelo cuando se estabilizan subrasantes en carreteras de Tiquillaca y Quilicane mediante la adición de una mezcla de grava y arcilla. El estudio determina la cantidad adecuada de arcilla y grava para aumentar la capacidad de soporte utilizando técnicas como Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg, Contenido de Humedad, Proctor Modificado y Relación de Soporte California. También emplea un diseño de investigación experimental y un grado de aplicación explicativo. Se realiza un análisis coste-beneficio para determinar la mejor dosis y la viabilidad de utilizar arcilla y grava para la mejora.

**Palabras clave:** estabilidad, carreteras, grava, arcilla y subrasante.



## ABSTRACT

The goal of the thesis, "The Influence of Gravel and Clay Mixture on the Relative Support Value for Subgrade Stabilization in Roads in the Province of Puno," is to ascertain the relative support value of the soil when subgrades in roads along Tiquillaca and Quilicane are stabilized by adding a mixture of gravel and clay. The study determines the proper amount of clay and gravel to increase bearing capacity using techniques like Granulometric Analysis, Atterberg Limits, Moisture Content, Modified Proctor, and California Bearing Ratio. It also employs an experimental research design and an explanatory degree of application. A cost-benefit analysis is performed to ascertain the best dose and viability of utilizing clay and gravel for enhancement.

**Key words:** stability, roadways, gravel, clay, and subgrade.



## INTRODUCCIÓN

Este estudio examina cómo la grava y la arcilla se combinan para mejorar las propiedades del suelo con fines de pavimentación o nivelación. La estabilización del suelo es un proceso mecánico. Un número CBR elevado no implica la estabilidad del suelo, según el estudio, que también muestra que el comportamiento del suelo depende de los límites, el contenido de humedad y la distribución granulométrica. Unos niveles altos de carga relativa pueden indicar que el suelo está en su mejor momento; unos valores bajos indican que el suelo no es estable. Mejorar el suelo y estabilizarlo con más combinaciones de materiales puede ayudar a utilizar recursos fácilmente disponibles localmente en lugar de trasladar recursos desde lugares lejanos, lo que elevaría el gasto del proceso de estabilización. El estudio llega a la conclusión de que añadir más combinaciones de materiales al suelo y estabilizarlo puede ser ventajoso.



## CAPITULO I

### EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Descripción de la realidad problemática

Las carreteras de Puno se están deteriorando como consecuencia de las condiciones meteorológicas, la falta de mantenimiento, el tráfico regular y los errores de construcción. Debido al rápido crecimiento de la provincia, se requiere una mejor infraestructura vial, junto con un mayor tráfico y la construcción de subestructuras viales. El estado de las carreteras de Puno es peligroso y pone en peligro la comodidad y seguridad de sus ciudadanos. El futuro diseño de las carreteras también debe tener en cuenta tanto la cantidad como la calidad de las vías existentes. Según el Centro de Investigación Empresarial (CIE) de Perú, las superficies sin pavimentar hacen que el 86,6% de las carreteras departamentales, regionales y locales estén en mal estado. Los suelos inadecuados e inestables con baja capacidad de carga agravan esta situación. Las subrasantes de arena de las carreteras y caminos rurales de Puno son especialmente vulnerables. Controlar las condiciones insatisfactorias y deficientes del suelo es una dificultad para los ingenieros civiles. Se necesitan soluciones fiables para reducir gastos y



evitar problemas en el futuro. Una forma de reforzar el suelo y aumentar su capacidad portante es añadirle una mezcla de arcilla y grava. Además, dado que los subsuelos con un valor de California Bearing Ratio (CBR) inferior al 6% se consideran no aptos para el uso, los proyectos de construcción de carreteras deben funcionar con eficacia. Para resolver este problema, se requieren técnicas de estabilización del suelo.

## **1.2 Planteamiento del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿En qué medida la aplicación de una combinación de grava y arcilla afectaría la cantidad proporcional de soporte necesario para estabilizar la subrasante en las carreteras de la provincia de Puno?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuáles son los valores de las características de suelo natural de la subrasante en la carretera Tiquillaca – Quilicane?
- ¿Cuál es la proporción ideal de arcilla y grava para mejorar la subrasante en la carretera Tiquillaca - Quilicane?
- ¿Cuánto soporte proporcionará una mezcla de grava y arcilla para la carretera Tiquillaca - Quilicane?

## **1.3 Justificación de la investigación**

### **1.3.1 Justificación teórica**

Este estudio ha generado diversos análisis, discusiones sobre los hallazgos, conclusiones y recomendaciones que pueden orientar investigaciones futuras. Finalmente, sugiere que estas ideas y teorías innovadoras pueden aplicarse en diferentes contextos, permitiendo el desarrollo de nuevas aplicaciones y utilidades.



### ***1.3.2 Justificación práctica***

La existencia de un recurso confiable es lo que lo hace útil, ya que puede enfrentar de manera efectiva diversos problemas comunes en varias ramas de la ingeniería. Este recurso es esencial no solo para evitar resultados no deseados, sino también para corregir errores que puedan ocurrir durante el proceso de ingeniería.

### ***1.3.3 Justificación económica***

La intención de la indagación es estabilizar mejor la subrasante para que, al final, un proyecto de carretera pueda producir materiales de alta calidad con suficiente durabilidad y resistencia portante.

### ***1.3.4 Justificación metodología***

El estudio propone una estrategia innovadora para mejorar la estabilidad de las subrasantes arenosas. En lugar de optar por la remoción o reemplazo completo de estos suelos, se sugiere incorporar una combinación óptima de materiales, específicamente grava y arcilla, lo que permitirá obtener una base más estable y eficiente para la construcción. Además, es importante destacar que tanto la arcilla como la grava están disponibles en las proximidades de la zona de investigación, lo que facilitará su obtención a un costo accesible, contribuyendo así a la viabilidad económica del proyecto.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Evaluar cómo la aplicación de la mezcla de grava y arcilla afecta el valor relativo del soporte para la estabilización de la subrasante de las carreteras de la provincia de Puno.



### **1.4.2** *Objetivos específicos*

- Determinar las características de suelo natural de la subrasante en la vía comprendida Tiquillaca – Quilicane
- Determinar la óptima dosificación con grava y arcilla para mejorar la subrasante en la vía comprendida Tiquillaca – Quilicane
- Encontrar la importancia relativa del soporte de la carretera Tiquillaca - Quilicane utilizando una mezcla de grava y arcilla.

## **1.5** **Hipótesis**

### **1.5.1** *Hipótesis general*

El valor portante relativo del suelo estabilizado con una composición de grava y arcilla aumenta significativamente en el nivel de subrasante de la ruta Tiquillaca - Quilicane.

### **1.5.2** *Hipótesis específicas*

- Mejora la óptima dosificación con grava y arcilla para mejorar la subrasante en la vía comprendida Tiquillaca – Quilicane
- Mejorar el valor relativo de soporte de la carretera Tiquillaca - Quilicane mediante la adición de una combinación de arcilla y grava.

## **1.6** **Variables e indicadores**

### ✓ **Variable independiente**

Estabilización con grava y arcilla

#### **a. Indicadores**

- Grava
- Arcilla



- Optima dosificación

✓ **Variable dependiente**

Valor relativo de soporte

**b. Indicadores**

- Compactación
- Granulometría
- Propiedades físicas

**1.1 Operacionalización de variables**

**Tabla 1.**

*Operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR
<b>Variable independiente: Estabilización con grava y arcilla</b>	La estabilización mecánica del suelo mediante una combinación de suelos, en la que el suelo existente y el material prestado se mezclan para mejorar las cualidades del suelo, se conoce como estabilización del suelo mediante una mezcla de materiales.	%	Grava Arcilla Optima dosificación
<b>Variable dependiente: Valor relativo de soporte</b>	Podemos determinar la resistencia o capacidad portante del suelo utilizando el indicador de capacidad portante relativa.	%	Compactación Granulometría Propiedades físicas



## CAPITULO II

### LA TEORIA REFERENCIAL

#### 2.1 Informes de la investigación

##### 2.1.1 *Referencias internacionales*

(Castillo Parra, 2017). El objetivo del proyecto es estabilizar suelos arcillosos de Macas, Ecuador, para que puedan ser utilizados como subrasantes de carreteras con valores de CBR inferiores al 5% y límites líquidos superiores al 100%. Debido a sus características especiales, los suelos empleados en este proyecto no son apropiados para la construcción de carreteras. Con frecuencia, las carreteras del este de Ecuador deben reconstruirse por completo con materiales de mayor calidad, lo que puede resultar caro y llevar mucho tiempo. El estudio recomienda añadir cal viva al suelo nativo para mejorar el suelo natural.

El suelo, que tiene un límite líquido superior al 100%, un contenido de humedad inicial del 140% y cambios notables en su categoría plástica en función de la técnica de secado empleada, se utiliza en la construcción de un nuevo paso lateral en Macas. El CBR del suelo es inferior al 5% cuando reacciona. La expansión, el índice plástico y el límite



líquido disminuyen al aumentar el CBR, según los experimentos de laboratorio. Se determinó un valor aproximado de 16% de cal.

Se realizó un estudio de costes y un diseño teórico tomando como base las propiedades del suelo tratado con un 16% de cal. El objetivo principal era evaluar las ventajas y desventajas de desarrollar un pavimento flexible utilizando suelo tratado con cal en comparación con la alternativa ya utilizada. Los resultados muestran que si se pudiera aplicar un tratamiento con cal en lugar de sustituir el material, el coste de la carretera disminuiría.

Sreenivasulu, Sravani, Seshalalitha, y Pavani (2016) investigaron los efectos de las partículas gruesas en las características del suelo cohesivo y la resistencia CBR en un estudio diferente. Examinaron el material, crearon una estrategia de distribución, realizaron ensayos y evaluaron los resultados utilizando un enfoque cuantitativo y un diseño experimental. El estudio descubrió una relación inversa entre la densidad seca máxima y el OCH, así como un descenso y un aumento de la humedad con la disminución del OCH. Además, los valores de CBR indican una disminución a medida que aumenta la cantidad de material de grano grueso.

García (2015), El estudio comparó nuevas técnicas de estabilización de subrasantes con enfoques más convencionales, como la cal, para evaluar los efectos sobre las arcillas de Bogotá. Utilizando equipos de laboratorio para mecánica de suelos, se estudió una muestra de suelo de la intersección de la Autopista Norte con la Calle 116 en Bogotá. El coeficiente de soporte (CBR) mejoró significativamente a medida que aumentaba la deformación, como lo demuestran los valores medios de CBR que aumentaron un 465% en comparación con el suelo inalterado, un 212% en comparación con la cal y un 395% en comparación con Terrasil. Debido a su bajo CBR, las arcillas bogotanas requieren el uso

de una técnica de estabilización que mejore sus características. La utilización del polímero TX-85 demostró ser la táctica más exitosa, incrementando el coeficiente portante en un 573,22%.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

Delgado Ríos y León Coronel (2019) investigaron la capacidad de los materiales de subrasante para mejorar las carreteras utilizando una mezcla de grava y arcilla. Descubrieron que la mejor combinación era una mezcla 50/50 de grava, 40% de piedra de 1 pulgada, 10% de piedra triturada de ½ pulgada y arcilla, 40% de material único y 10% de arena arcillosa. El precio de esta combinación representaba el 61,92% del coste total de la subestructura. Con la combinación G-A, la relación coste-beneficio pasó del 4,7% al 19,4%. La combinación es económica, aunque los precios cambien con el tiempo porque requiere poco mantenimiento y atención.

Los efectos de la cal como agente estabilizador sobre la estabilidad a largo plazo y las características mecánicas de materiales finos con índices de plasticidad medio y alto fueron investigados por Elizondo, Navas y Sibaja (2010). Según el estudio, las propiedades mecánicas y de durabilidad del material de la subrasante mejoran con la adición de cal. La cal de Primera es conocida por su alto contenido de óxido de calcio y magnesio, lo que mejora su comportamiento a compresión no confinada. Ambas investigaciones ponen de relieve lo fundamental que es sopesar los costes, las ventajas y la dosificación ideal de aplicar determinadas combinaciones al mejorar las carreteras.

Nesterenko (2018). Creó un método útil para estabilizar el suelo utilizando poliacrilamida teniendo en cuenta el equipo y el medio ambiente. En el estudio se utilizaron muestras de suelo de una variedad de proyectos, incluyendo gravas limosas y arcillas rojizas de baja plasticidad. Los resultados demostraron que, para todos los suelos



examinados, la utilización de procesos de curado de 28 días dio lugar a un aumento porcentual del CBR superior al 45%. La muestra A mostró el mayor aumento, y los suelos B y C experimentaron aumentos al 100% y 95% de MDS, respectivamente. El estudio encontró que, con un incremento medio de más del 20% en comparación con los suelos nativos, el polímero de poliacrilamida (PAM), un estabilizador no convencional, puede ser ventajoso para carreteras con baja capacidad portante ( $CBR < 30\%$ ). Esto implica que la PAM podría ser un sustituto útil para las carreteras con baja capacidad portante.

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 Carreteras o vías no pavimentadas**

#### **2.2.1.1 Vías no pavimentadas**

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones define las carreteras sin asfaltar como aquellas cuya superficie es de grava, suelo estabilizado o topografía natural. Estas carreteras han sido sometidas a tratamientos superficiales, trabajos de alineación, secciones longitudinales y transversales suficientes y drenaje adecuado porque están diseñadas para acceder a localidades rurales. Menos de 200 automóviles al día en carreteras de tierra se considera un volumen medio diario de tráfico (IMD) bajo.

#### **2.2.1.2 Problemas en las vías no pavimentadas**

Debido a su propensión al desgaste, las carreteras sin pavimentar presentan una serie de dificultades, como ondulaciones, irregularidades considerables respecto a una superficie de carretera uniforme, residuos de áridos, formación persistente de surcos, filtración de agua en la estructura de tierra de la carretera y disminución del grosor de la capa superficial por deterioro. Estos problemas están causados por la infiltración de agua en la estructura de la carretera, los residuos de áridos, las crestas y depresiones

perpendiculares a la dirección del tráfico y la presencia de agua, que erosiona la estructura de la carretera disminuyendo la resistencia y causando socavación en la superficie.

### 2.2.1.3 Vías no pavimentadas en el Perú

Las carreteras nacionales, departamentales y locales de Perú suman 168.953,856 km y se clasifican en tres tipos principales: longitudinales, de penetración y de enlace. La descentralizada (PROVIAS) del MTC se encarga del mantenimiento y ampliación de estas carreteras. Las autopistas, las carreteras pavimentadas y las carreteras asfaltadas son las tres categorías diferentes de carreteras. Actualmente, el 83% del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) está sin pavimentar, lo que lo hace vulnerable a los daños relacionados con el tiempo y el tráfico. Clasificadas en carreteras de la red nacional, carreteras secundarias y locales, y carreteras de tierra, la mayoría de las carreteras de la red vial nacional son de tierra o grava. En las redes de carreteras nacionales, departamentales y locales, hay aproximadamente 100.000 kilómetros de carreteras sin asfaltar que necesitan ser renovadas con un bacheo o pavimentación básicos.

**Tabla 2.**

*Red vial del sistema nacional por superficie de rodadura*

N° de rutas	Pavimentada	No pavimentada		Sub total	Proyectado	Total
		Afirmada	Sin afirmar			
Nacional (143)	22,671.50	2,881.10	1,556.10	27,108.70	1883.50	28,992.20
Departamental (397)	4742.70	15346.40	7783.60	27962.70	4975.10	32637.80
Vecinal (6398)	2794.60	30895.70	84849.60	118539.80	106.1	118645.90

*Nota:* (MTC 2022)

### 2.2.2 Suelos

Los sedimentos no consolidados, como el viento, el agua y la gravedad, se combinan con partículas sólidas procedentes de diversas actividades para formar los suelos. Son una sustancia natural compleja y diversificada de naturaleza heterogénea. La descomposición y las alteraciones físicas y químicas de las formaciones rocosas subyacentes producen el suelo. Se trata de una capa significativa y comparativamente fina de la corteza terrestre. Los principales procesos que conducen a la producción de suelo son su descomposición y las subsiguientes alteraciones químicas y físicas.

#### Tabla 3.

*Clasificación.*

Tipo de suelo		Tamaño
Grava	Gruesa	75 a 4.75 mm
Arena	Media	4.75 a 2 mm
	Fina	0.425 a 0.075 mm
Fino	Limo	0.075 a 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

*Nota.* MTC 2013.

### 2.2.3 Clasificación de suelos

El análisis de las características y rasgos distintivos forma parte del proceso de clasificación del suelo, y se crean diferentes sistemas de clasificación con distintos fines. Los dos sistemas de clasificación nacionales más populares son el esquema de Clasificación Unificada de Suelos (SUCS) y el esquema de la Asociación Estadounidense de Funcionarios de Carreteras y Transporte (AASHTO).

**Tabla 4.**

*Clasificación de Suelos según SUCS*

FINOS $\geq$ 50% pasa malla # 200 (0.08 mm)							
Tipo de suelo	Símbolo	Límite líquido	Índice de plasticidad (IP)				
Limos inorgánicos	ML	<50	<0.73 (WI - 20) o < 4				
	MH	>50	<0.73 (WI - 20)				
Arcillas inorgánicas	CL	<50	<0.73 (WI - 20) y < 7				
	CH	>50	>0.73 (WI - 20)				
Limos y arcillas orgánicas	OL	<50	**wl seco al horno $\leq$ 75% del wl seco al aire				
	OH	>50					
Altamente orgánicos	P1	Material orgánico fibroso					
Si IP $\geq$ 0.73(WI - 20) o si IP entre 4 y 7 e IP > 0.73 (WI - 20), usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH							
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente WI seco al horno.							
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica. Ej.: CH-MH en vez de CL-ML							
Si WI= 50; CL-CH o ML-MH							
GRUESOS < 50% pasa malla # 200 (0.08 mm)							
Tipo de suelo	Símbolo	% ret. malla N° 4	% pasa malla N° 200	CU	CC	** IP	
Gravas	GW	>50% de lo ret. en 0.08 mm	<5	>4	1 a 3	<0.73 (wl-20) o <4	
	GP			$\leq$ 4	<10>3		
	GM		>12				<0.73 (wl-20) o <7
	GC						<0.73 (wl-20) o <7
Arenas	SW	< 50% de lo ret. en 0.08 mm	<5	>6	1 a 3	<0.73 (wl-20) o <4	
	SP			$\leq$ 6	<10>3		
	SM		>12				<0.73 (wl-20) o <4
	SC						<0.73 (wl-20) o <7
*Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC							
** Si IP= 0.73(WI-20) o si IP entre 4 y 7 e IP>0.73 (WI-20), usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.							
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica. Ej.: GW-GM en vez de GW-GC.							
$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}}$				$CC = \frac{D_{30}^2}{D_{60} + D_{10}}$			

Nota: (Pastor, 2013)

La Administración de Carreteras de EE.UU. desarrolló en 1929 el sistema A.A.S.H.T.O., ampliamente utilizado para clasificar los suelos. Divide los suelos en siete clases principales, cada una con características distintas. Este enfoque, que ofrece explicaciones exhaustivas de cada clase, se ha convertido en una herramienta esencial para gestionar y comprender las condiciones del suelo en la edafología y la ingeniería.

**Tabla 5.**

*Categorización según AASTHO*

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos que pasa el tamiz No. 200)							Materiales de limo y arcilla (Más del 35% que pasa el tamiz No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 * A-7-5, A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Clasificación de grupo											
Análisis por tamices, porcentaje que pasa:											
2.00 mm (No. 10)	50 máx	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0.425 mm (No. 40)	30 máx	50 máx	51 mín	–	–	–	–	–	–	–	–
75 µm (No. 200)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características de la fracción que pasa el tamiz 0.425 mm (No. 40):											
Límite líquido	–	–	–	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad	6 máx.	–	NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipos usuales de materiales constitutivos significativos	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación general como subrasante	Excelente a bueno							Regular a malo			

\* IP del subgrupo A – 7 – 5 es menor o igual que LL menos 30; IP del subgrupo A – 7 – 6 es mayor que LL menos 30.

*Nota:* Norma ASTM M145.

### 2.2.4 Estabilización de suelos

La adición de elementos sintéticos, naturales o industriales, o su sustitución mecánica, no es el enfoque utilizado para mejorar las propiedades físicas de las partículas del suelo. Su objetivo es aumentar la resiliencia, la trabajabilidad y el equilibrio volumétrico, reduciendo al mismo tiempo la flexibilidad del suelo. La consolidación del suelo maximizará sus propiedades beneficiosas y dará lugar a un suelo homogéneo y robusto capaz de soportar cargas pesadas y condiciones meteorológicas desfavorables. Higuera et al. (2012)

#### 2.2.4.1 Clasificación de métodos de estabilización

El proceso de estabilización del suelo es intrincado y comprende una serie de técnicas, cada una con características y usos especiales. La fusión del suelo, la sustitución

y la compactación son los tres procesos que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones utiliza para clasificar los procedimientos de consolidación. Mientras que la fusión del suelo implica combinar materiales superiores con recursos disponibles localmente, la compactación implica disminuir los huecos del suelo. Para sustituir el material viejo por otro mejor, es necesario reemplazar el suelo. El rendimiento y el diseño de las carreteras de asfalto pueden mejorarse con geosintéticos.

La estabilización del suelo implica el uso de una serie de técnicas, cada una con características y usos especiales. La estabilización química consiste en modificar la composición del suelo añadiendo aditivos sintéticos, lo que disminuye la influencia sobre el medio ambiente. La aplicación de cal, cemento, escoria, cloruro cálcico, cloruro sódico y asfalto para mejorar la calidad del suelo se trata en CE.020. La construcción de sistemas de drenaje que mantengan el flujo y la evacuación del agua es el proceso de estabilización del drenaje. Los procesos de conducción eléctrica se utilizan en las técnicas de estabilización eléctrica para reforzar la composición del suelo. Para convertir componentes finos como la arcilla en sólidos que se asemejen a ladrillos, la estabilización por calor y calcinación implica aumentar la temperatura del suelo. Estas técnicas ofrecen una serie de opciones para mejorar las cualidades del suelo y garantizar la durabilidad de la construcción. (Velásquez Pereyra, 2018).

### Figura 1.

*Formas de lograr la estabilización*



#### 2.2.4.2 Estabilización por combinación de suelos

La consolidación es un proceso que mejora la calidad del suelo mediante la mezcla de elementos prestados para producir un material altamente granular y con un bajo índice de plasticidad. Como resultado, hay menos huecos, un comportamiento compacto, una distribución eficaz de los gránulos y una mayor uniformidad volumétrica. El objetivo final es optimizar la elasticidad, la capacidad de drenaje y la resistencia al agua del suelo. El método funciona especialmente bien para mejorar los suelos cohesivos y no cohesivos, que necesitan finos y gravas para la cohesión y la capacidad portante, y arena y gravas para disminuir la compresibilidad y aumentar la resistencia. (Mory Espinoza, 2020).

#### Figura 2.

*Estabilización de suelos por combinación*



#### 2.2.4.3 Estabilización de suelos arenosos

Haciendo hincapié en las investigaciones, el documento describe los procedimientos para combinar suelos no cohesivos en subrasantes. El enfoque recomendado es la valorización mecánica, como se indica en las tablas 6 y 7. Dado que se

considera que los procedimientos mecánicos son la opción más viable desde el punto de vista económico, es necesario profundizar en el tema. Afectan a la granulometría del material. Para comprender el procedimiento, es necesario conversar más.

**Tabla 6.**

*Tipos de suelos y medidas de estabilización.*

Tipo de suelo	Estabilizaciones usuales
Suelos arenosos	Estos materiales pueden mejorar las características del cemento o el asfalto y son apropiados para la mezcla de estratos debido a su tamaño de grano consistente.
Suelos limosos con algo de arcilla	La compactación suele ser el único tratamiento económico al que son vulnerables.
Suelos limosos con muy poca o ninguna arcilla	No existen tratamientos económicos y, dado que las superficies expuestas emiten polvo cuando se secan, es mejor evitar su uso.
Suelos arcillosos agrietados	Responden muy bien a la estabilización con cal.
Suelos arcillosos no agrietados y textura abierta	Reaccionan muy bien a la compactación.
Arcillas suaves	Altamente susceptibles a la estabilización con cal.

*Nota:* Alfonso Rodríguez (1977).

**Tabla 7.**

*Estabilización recomendable en función a tipo de suelo.*

Mineral	Estabilización recomendada	Fin
Material Orgánico	Mecánico	El que tiene mayor efectividad a diferencia de los demás
Arena	Mezcla con material fino no plástico Cemento, Asfalto	Mecánicamente estable Alta resistencia. Mayor cohesión
Limo	Cloruro de Sodio y Calcio	Disminuye material fino
Alofano	Cal ó Cal/yeso	Alta resistencia
Coalin	Arena	Mecánicamente estable
	Cemento	Alta resistencia en un tiempo corto
	Cal	Trabajabilidad y resistencia en un largo plazo
Llita	Cemento	Alta resistencia en un tiempo corto



	Cal	Trabajabilidad y resistencia en un largo plazo
Montmorilonita	Cal	Trabajabilidad y resistencia en un largo plazo

*Nota:* Alfonso Rodríguez (1977).

### 2.2.5 Ensayos de materiales en laboratorio según las normas

#### A. Ensayo de contenido de humedad

Antes del secado en estufa a 110 °C, debe determinarse el peso inicial de la muestra para calcular su contenido de humedad. A continuación, debe determinarse la masa y el contenido de humedad de la muestra seca pesándola y determinando su estado original, respectivamente (Neyra, 2016). (Neyra, 2016).

#### B. Análisis granulométrico:

El análisis granulométrico es una técnica que permite determinar la relación entre los elementos constitutivos en función del tamaño. En suelos gruesos con estructuras simples, como arenas, gravas y limos no plásticos, es esencial para calcular la resistencia. Entre los parámetros importantes figuran la angulosidad y la compacidad del grano, que pueden calcularse mediante fórmulas.

##### (%) Retenido parcial:

$$\%Retenido\ Parcial = \frac{Peso\ Retenido\ Parcial}{Peso\ Total} * 100 \dots \dots Ec\ N^{\circ}\ 1$$

##### (%) Retenido acumulado:

$$\% Ret. Acumulado = \% Ret. Acumulado + \%Ret. Parcial \dots \dots Ec\ N^{\circ}\ 2$$



**Prop. que pasa por el tamiz:**

$$\% \text{ Pasa Tamiz} = 100 - \% \text{ Ret. Acumulado} \dots \dots \text{ Ec N}^\circ 3$$

**C. Límite Líquido:**

El porcentaje de humedad en un estado intermedio entre líquido y plástico determina el contenido de humedad del suelo. Las muestras de ensayo se pasan por un tamiz n.º 40 con una cuchara y una espátula Casagrande. El procedimiento consiste en calcular cuántas pasadas son necesarias para cerrar un surco creado a un ritmo de 02 pasadas por segundo con una espátula de 13 mm.

$$LL(\%) = \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \dots \dots \text{ Ec N}^\circ 4$$

Donde:

LL = L. líquido

w\*n = C. humedad

N = N. de golpes

**D. IP:**

El bajo contenido de humedad (LP) del suelo, como indican las muestras del filtro n.º 40, permite colocar en él cilindros de 3 mm de diámetro sin que se hundan. La plasticidad de un suelo puede evaluarse comparando las diferencias entre LL y LP:

$$\text{Limite Plastico}(\%) = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso seco del horno}} * 100 \dots \dots \text{ Ec N}^\circ 5$$

$$\text{Indice plastico} = \text{Limite Liquido} - \text{Limite Plastico} \dots \dots \text{ Ec N}^\circ 6$$

**Tabla 8.**

*Categorización de suelos según el Índice de Plasticidad*

Índice de plasticidad (IP)	Plasticidad	Características
$IP > 20$	Alta	Suelo muy arcilloso
$20 > IP > 7$	Media	Suelo arcilloso
$IP < 7$	Baja	Suelo poco arcilloso
$IP = 0$	No plástico (NP)	Suelo exento de arcilla

*Nota:* (MTC, 2014).

El término «equivalente de arena» describe la proporción de partículas finas, arcilla o polvo en el suelo (MTC, 2014).

**Tabla 9.**

*Categorización del suelo según Equivalente de Arena*

Equivalente de arena	Características
$EA > 40$	Suelo no plástico. Es arena
$40 > EA > 20$	Suelo poco plástico, no heladizo.
$EA < 20$	Suelo plástico y arcilloso.

*Nota:* (MTC, 2014).

### Propiedades mecánicas del suelo

#### A) Ensayo de Proctor Modificado:

La relación entre el peso unitario seco en un volumen determinado y el contenido de agua del suelo es el principal objetivo de la investigación. La densidad seca máxima y el contenido óptimo de humedad se acoplan para representar la curva, que se crea triturando en un molde cinco capas de materiales con distintos niveles de humedad.

$$\text{Densidad húmeda } (P_m), \text{ en } (g/m^3) = 1000 * \frac{(M_T - M_{md})}{V} \dots \text{ Ec. 7}$$

$$\text{Densidad seca } (P_d), \text{ en } (g/m^3) = 1000 * \frac{P_m}{1 + \frac{W}{100}} \dots \text{ Ec. 8}$$

$$\text{Contenido de humedad } (W), \text{ en } (\%) = 1000 * \frac{M_w}{M_s} \dots \text{ Ec. 9}$$

Donde:

Mt = P. del suelo húmedo + molde

Mmd= M. del molde (kg).

V = Volumen del molde

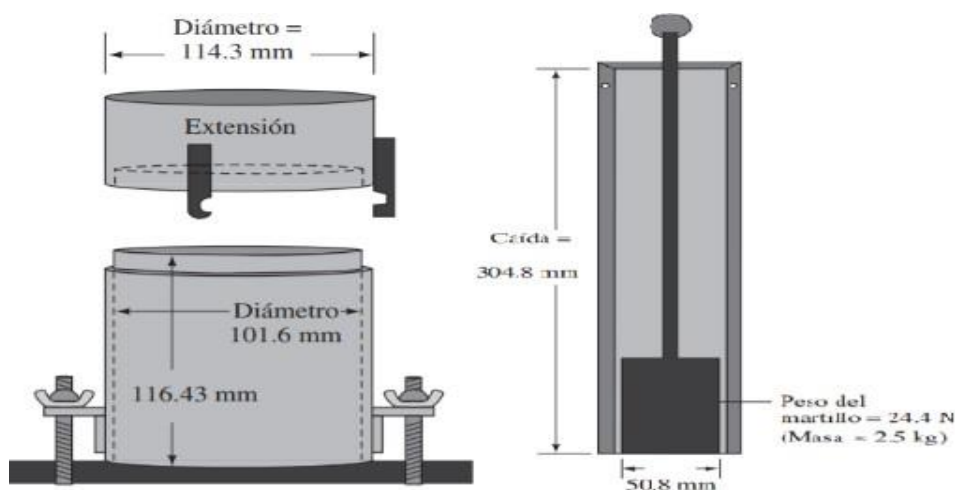
W = C. humedad

Mw = M. masa del suelo húmedo

Ms= M. del suelo seco

**Figura 3.**

*Herramienta de Proctor M.*



### B) Ensayo CBR en laboratorio:

Mediante la medición de la humedad y la densidad, el cálculo de la expansión por la acción del agua y la estimación de la resistencia al empuje penetrante utilizando un equipo CBR, el Proctor Modificado es una

herramienta utilizada para cambiar los materiales compactados. Calcula la diferencia entre la presión necesaria para introducir un pistón en el suelo y la presión necesaria para lograr la misma penetración en un suelo que ha sido triturado hasta convertirse en grava.

$$CBR(\%) = \frac{\text{Presión en el suelo}}{\text{Presión en el suelo patrón}} * 100 \dots \dots \text{Ec N}^\circ 10$$

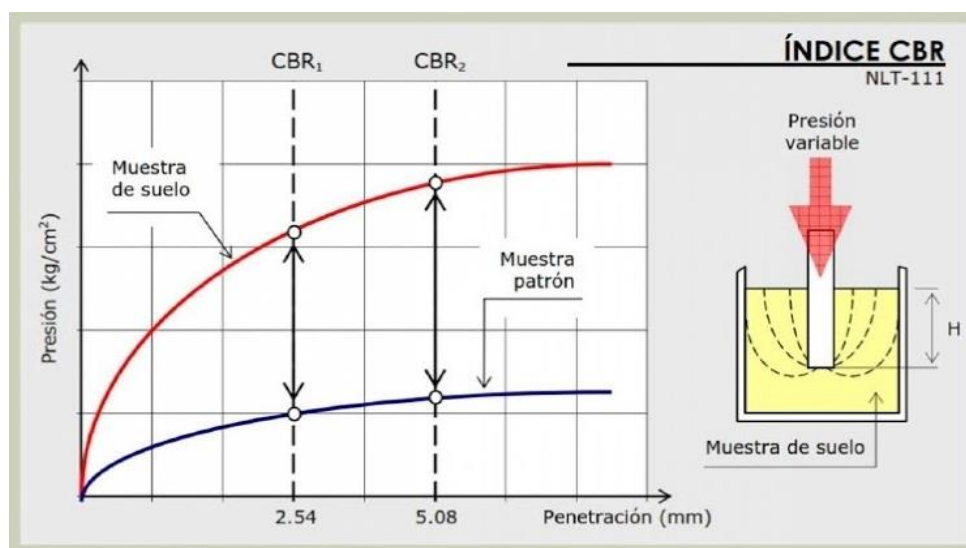
$$(\%) \text{ de expansión} = \frac{\text{lectura inicial} - \text{lectura final}}{127 (\text{altura del molde})} * 100 \dots \dots \text{Ec N}^\circ 11$$

### Procedimiento del ensayo:

Para realizar el estudio, los materiales se aprietan en moldes utilizando una prueba Proctor modificada, se saturan durante cuatro días después de aplicar diez libras de pavimento flexible de dos pulgadas y, a continuación, se recogen cada 24 horas para determinar la expansión. Después de cuatro días, se realiza una prueba CBR a una velocidad de 0,05 pulg/min, registrando los valores de presión a profundidades de penetración de 0 a 2 pulgadas.

**Figura 4.**

*Curva humedad - densidad seca*



### 2.2.6 Subrasante

Como base de las capas del pavimento, la subrasante es una parte esencial del proceso de construcción. Sus componentes se estandarizan y comprimen para reducir los espacios entre ellos, convirtiéndola en una sustancia resistente que no se deteriora bajo carga. Los materiales utilizados bajo la subrasante deben tener un California Bearing Ratio (CBR) de al menos el 6%, lo que indica su calidad y longevidad. Se debe utilizar un producto de mejor rendimiento en lugar de la subrasante si el valor del CBR es inferior al 6%.

Las pruebas CBR clasifican las piezas en función de su resistencia a las cargas de los vehículos y evalúan la calidad y capacidad portante del subsuelo (MTC (2013)).

**Tabla 10.**

*Categorías de Subrasante en función del CBR.*

Categorías de Subrasante	CBR
So: Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante Pobre	De CBR $\geq$ 3% A CBR < 6%
S2: Subrasante Regular	De CBR $\geq$ 6% A CBR < 10%
S3: Subrasante Buena	De CBR $\geq$ 10% A CBR < 20%
S4: Subrasante Muy Buena	De CBR $\geq$ 20% A CBR < 30%
S5: Subrasante Excelente	De CBR $\geq$ 30%

*Nota.* (MTC, 2013)

### 2.2.7 Caracterización de la subrasante

Al caracterizar una subrasante, se utilizan métodos como los pozos de prueba y las excavaciones de reconocimiento de hasta 1,5 metros de profundidad para evaluar las características mecánicas y físicas de la subrasante. Dependiendo del tipo de plan, el

número de excavaciones puede o no llevarse a cabo; el número adecuado para cada kilómetro se determina utilizando una tabla de referencia. (Chávez Cuipal, 2018).

**Tabla 11.**

*Número de ensayos Mr y CBR*

Tipo de carretera	Nº MR y CBR
Las autopistas se definen como carreteras con una IMDA de más de 6000 vehículos al día y calzadas distintas con dos o más carriles cada una.	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Calzada 2 carriles por sentido: 1 MR cada 3 km. x sentido y 1 CBR cada 1 km. x sentido.</li><li>▪ Calzada 3 carriles por sentido: 1 RM cada 2 km. x sentido y 1 CBR cada 1 km. x sentido.</li><li>▪ Calzada 4 carriles por sentido: 1 MR cada 1 km. x dirección y 1 CBR cada 1 km. x dirección.</li></ul>
Dos o más calzadas, cada una con dos o más carriles, con un ADLI que oscila entre 6000 y 4001 vehículos al día se denominan carreteras de doble carril o de varios carriles.	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Calzada 2 carriles por sentido: 1 RM cada 3 km. x sentido y 1 CBR cada 1 km. x sentido.</li><li>▪ Calzada 3 carriles por sentido: 1 RM cada 2 km. x sentido y 1 CBR cada 1 km. x sentido.</li><li>▪ Calzada 4 carriles por sentido: 1 MR cada 1 km. y 1 CBR cada 1 km. x dirección.</li></ul>
Las carreteras de primera clase son las que tienen una calzada de dos carriles con una IMDA de entre 4000 y 2001 vehículos al día.	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 1 RM cada 3 km y 1 CBR cada 1 km..</li></ul>
Las carreteras de segunda clase son las que tienen una calzada de dos carriles y una IMDA de 2000-401 vehículos al día.	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Cada 1,5 km. se hará un CBR..</li></ul>
Las carreteras de tercera clase son carreteras de dos carriles con una IMDA de 400-201 vehículos al día.	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Se realizará un CBR cada 2 km.</li></ul>
Carreteras de calzada única con una IMDA inferior a 200 vehículos diarios.	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Se realizará un CBR cada 3 km.</li></ul>

### 2.2.8 Estabilización de la subrasante

La técnica de estabilizar suelos naturales para producir una capa resistente a la intemperie y al peso de los vehículos se conoce como estabilización. Para aumentar la

calidad del suelo, este método implica la introducción de componentes artificiales, especialmente productos químicos. Una característica distintiva de estas tácticas es la aplicación de productos químicos, cuyo objetivo es formar una capa estable y fiable que pueda soportar el peso de los automóviles. (Zeña, 1993, p. 62).

**Tabla 12.**

*Metodologías químicas de acuerdo al tipo de suelo.*

Suelo	Arcillas finas	Arcillas gruesas	Limos finos	Limos gruesos	Arenas finas	Arenas gruesas
Tamaño (mm)	<0.0006	0.0006 – 0.002	0.002 – 0.01	0.01 – 0.06	0.06 – 0.4	0.4 - 2.0
Estabilidad volumétrica	Muy pobre	Regular	Regular	Buena	Muy buena	Muy buena
Tipo de estabilización	Cal					
	Cemento					
	Asfalto					
	Mecánica					
	Rango de máxima eficiencia					
	Efectividad para el control de calidad, puede ser difícil					

*Nota.* (Zeña, 1993)

### 2.2.9 Subrasante mejorada

Parte esencial de los sistemas de carreteras, la capa de subrasante se utiliza para rellenar por debajo de la capa de subbase granular cuando ésta se vuelve demasiado blanda o deficiente en cuanto a capacidad portante, o experimenta cambios volumétricos provocados por el agua. Se compone de relleno y otros materiales que se utilizan para formar y nivelar el terreno en los terraplenes. El relleno impide que el agua se filtre a través del pavimento y nivela el terreno sin seguir una alineación longitudinal o transversal. Tres componentes conforman la estructura general y el funcionamiento de los rellenos: la base, el núcleo y la corona. El núcleo mantiene la integridad estructural del relleno, mientras que la capa de base ofrece una base sólida. La capa superficial del relleno, o corona, actúa como línea exterior de protección de las capas inferiores, protegiéndolas del entorno.

La capa superior, llamada corona, sirve como capa exterior de defensa, protegiendo de los elementos a las capas inferiores. La parte poco profunda del relleno, conocida como corona, suele tener un grosor de 30 cm. Sus dimensiones pueden cambiar, por lo que es necesario un cuidadoso análisis del proyecto. Junto con otros factores importantes, la composición de la corona tiene una gran influencia en el buen funcionamiento del relleno. (Gómez y Delgadillo, 2015).

### Figura 5.

*Proceso de compactación de la subrasante mejorada*



## 2.3 Marco conceptual

- 1. AASHTO:** La Asociación Americana de funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO) es una organización que establece normas y guías para el diseño y construcción de carreteras en los Estados Unidos. Más allá de su nombre, AASHTO juega un papel crucial en la ingeniería civil, ya que proporciona especificaciones técnicas que son respetadas globalmente. Es como un manual confiable que ingenieros y constructores siguen para garantizar la calidad y seguridad de sus proyectos.
- 2. Agregado Fino:** Los agregados finos son partículas pequeñas, como la arena, que se mezclan con cemento y agua para formar concreto. La clave



está en su tamaño y cómo estas partículas afectan la trabajabilidad y durabilidad del concreto. Es como cuando cocinas y el tamaño de los ingredientes finos determina la textura de tu platillo.

3. **Agregado Grueso:** Los agregados gruesos, como la grava o piedra triturada, son los componentes más grandes dentro de una mezcla de concreto. Su función principal es proporcionar resistencia y volumen al concreto. Imagínalo como las piezas grandes de un rompecabezas que dan forma y estructura al todo.
4. **Contenido de Humedad:** El contenido de humedad en los materiales de construcción es simplemente la cantidad de agua presente en ellos. Esta característica es esencial porque afecta la resistencia, peso y durabilidad del material. Piensa en esto como en la cantidad de agua que se necesita en una receta; demasiado o muy poco puede arruinar el resultado.
5. **Contenido Óptimo de Humedad:** El contenido óptimo de humedad es el punto exacto donde la cantidad de agua en el suelo o en un agregado es ideal para alcanzar la máxima densidad al compactar. Este equilibrio es crucial, como cuando agregas justo la cantidad correcta de agua a la masa para que quede perfecta.
6. **CBR:** Una prueba clave en el diseño de pavimentos es el coeficiente de capacidad portante de California (CBR), que evalúa la resistencia del suelo a la penetración y su capacidad para soportar grandes cargas bajo presión.
7. **Densidad:** La densidad es la relación entre la masa de un material y el volumen que ocupa. Es un factor fundamental en la construcción, ya que influye en la estabilidad y durabilidad de las estructuras. Es como cuando



comparas un trozo de madera con un bloque de metal; aunque sean del mismo tamaño, el metal es mucho más denso y pesado.

- 8. Granulometría:** La granulometría se refiere a la distribución del tamaño de las partículas en un material granular, como la arena o la grava. Esta característica afecta la manera en que los materiales se compactan y se asientan, y es clave para la estabilidad de una estructura. Es como seleccionar diferentes tamaños de piezas en un rompecabezas para asegurar que encajen perfectamente.
- 9. Grava:** La grava es un material granular compuesto por fragmentos de roca, utilizado ampliamente en la construcción. Su tamaño varía, pero siempre es lo suficientemente grande como para proporcionar estabilidad y soporte en diversas aplicaciones, desde cimientos hasta pavimentos. La grava actúa como la base sólida sobre la cual se edifica una estructura.
- 10. Índice de Plasticidad:** El índice de plasticidad es la medida de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo. Este índice indica la cantidad de agua que un suelo puede absorber antes de cambiar de estado, de sólido a plástico. Es como determinar cuánta agua puede absorber una esponja antes de que comience a gotear.
- 11. Límite Líquido:** El límite líquido es el contenido de humedad al cual el suelo pasa de un estado plástico a uno líquido. Este valor es crucial para determinar la estabilidad del suelo bajo condiciones saturadas. Es como saber cuánto tiempo puedes dejar una masa de harina y agua antes de que se convierta en una papilla imposible de manejar.
- 12. Límite Plástico:** El punto en el que un suelo muestra un comportamiento plástico, es decir, una deformación sin rotura, se conoce como límite



plástico. Este límite es esencial en la construcción porque ayuda a entender cuánta deformación puede soportar un suelo antes de fallar. Es similar a estirar una goma; llega un punto en el que se estira pero no vuelve a su forma original.

**13. Ensayo In Situ:** El ensayo in situ se refiere a las pruebas realizadas directamente en el lugar donde se desarrollará una construcción. Estas pruebas permiten evaluar las condiciones reales del suelo o material de construcción en su entorno natural. Es como probar una receta en la cocina donde se servirá, para asegurarse de que todo esté perfecto.

**14. Estabilización de Suelo:** La estabilización de suelo es el proceso de mejorar las propiedades de un suelo, generalmente para hacer que sea más estable y adecuado para la construcción. Este proceso puede incluir la adición de materiales como cal o cemento para aumentar la resistencia y durabilidad del suelo. Es como añadir refuerzos a una estructura para que sea más fuerte y duradera.

**15. Terracerías:** Las terracerías son las capas de tierra preparadas y compactadas sobre las cuales se construyen carreteras y otras estructuras. Este proceso es esencial para garantizar una base sólida y nivelada. Piensa en las terracerías como en los cimientos de una casa; si no están bien hechos, todo lo demás podría fallar.

**16. Subrasante:** La subrasante es la capa de suelo natural o compactado sobre la que se coloca una carretera o pavimento. Su estabilidad y capacidad de carga son críticas para la durabilidad de la estructura. Es como el colchón debajo de un suelo de madera; si no es firme, el suelo se deformará con el tiempo.



- 17. Compactación:** La compactación es el proceso de densificar el suelo o los materiales mediante la aplicación de presión, generalmente a través de maquinaria pesada. Este proceso es vital para eliminar los espacios vacíos en el suelo y aumentar su capacidad de carga. Es como presionar firmemente la tierra en una maceta para que las raíces de las plantas tengan un buen soporte.
- 18. Afirmado:** El afirmado se refiere a la capa de material granular, como grava o piedra triturada, que se coloca y compacta sobre una subrasante para formar la base de una carretera o estructura. Este proceso proporciona una superficie estable y duradera. Es como añadir una capa final de protección antes de colocar algo más pesado encima, asegurándose de que todo esté bien soportado.



## CAPITULO III

### METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Diseño de la investigación

##### 3.1.1 Nivel de investigación

Comprender la razón o causa de un acontecimiento o suceso en un entorno real es el objetivo del estudio explicativo. Este estudio pretende dar una explicación imparcial, veraz y precisa examinando cómo interactúan los acontecimientos dentro de un escenario real. La lógica mencionada considera múltiples factores que se tienen en cuenta a lo largo del proceso de estudio (Carrasco Díaz, 2006).

##### 3.1.2 Tipo de investigación

El objetivo del estudio era añadir al suelo una combinación de grava y arcilla para probar su estabilidad y evaluar el comportamiento resultante. Es posible realizar una evaluación exhaustiva de la estabilidad del suelo, ya que este estudio de investigación aplicada se ajusta a los requisitos y criterios de esta categoría de investigación.



### **3.1.3 Método de investigación**

Mediante investigaciones de laboratorio sobre las propiedades mecánicas y físicas de la subrasante natural estabilizada con arcilla y grava, el estudio utilizará un método deductivo.

### **3.1.4 Enfoque de investigación**

Este estudio emplea una metodología cuantitativa, ya que la información recogida en los ensayos se utilizará para validar nuestra hipótesis.

## **3.2 Población y muestra**

### **3.2.1 Población**

El material que compone la subrasante de la carretera Tiquillaca - Quilicane en la provincia de Puno desde el kilómetro 1+000 hasta el km 4+000 es el objeto principal de la investigación.

### **3.2.2 Muestra**

La muestra de suelo utilizada para este estudio provino de tres calicatas ubicados en los KM 1+000, KM 2+500 y KM 4+000 de la ruta Tiquillaca-Quilicane en la región Puno.

### **3.2.3 Diseño muestral**

Se excavarán tres calicatas de 1,50 metros de profundidad para evaluar las cualidades del suelo de subrasante bajo la carretera antes de tratarlo con una combinación de arcilla y grava. El mismo lugar proporcionará los recursos necesarios para crear el suelo de subrasante adicional.

**Tabla 13.***Calicatas extraídas.*

Lugar	Calicata	Profundidad
Carretera Tiquillaca – Quilicane	C – 1	1.50
	C – 2	1.50
	C – 3	1.50

### 3.3 Espacio de estudio

#### 3.3.1 Lugar del área en estudio

Se realizaron experimentos en el laboratorio de la UANCV en Juliaca para estudiar y evaluar las combinaciones de materiales granulares, capacidad portante y arenas aluviales en canteras particulares.

#### 3.3.2 Descripción del área de estudio

El laboratorio de mecánica de suelos de esta empresa ha sido reconocido por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Tras cada ensayo, el laboratorio certifica los instrumentos y ofrece determinados certificados.

#### 3.3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Lugares de muestreo: Se excavaron hoyos de 1,5m de altura en los lugares de muestreo, que se encuentran en la carretera Tiquillaca-Quilicane. La ubicación de estos pozos se indica a continuación

**C - 1, A** Durante la perforación, se descubrió 1,2m de material arenoso, seguido de 1,5m de grava-arena, limo y material limoso.

### Figura 6.

*Visualización de la C - 1*



C - 2, Se descubrió material arenoso al perforar hasta una profundidad de 1,2m y después hasta 1,5m., material grava-arenoso limoso

### Figura 7.

*Visualización de la C - 2*



C - 3, Se descubrió material arenoso al perforar hasta una profundidad de 1,20 m y después hasta 1,50 m., material grava-arenoso, limoso.

### Figura 8.

*Visualización de la C - 3*



### 3.3.4 *Obtención de muestras representativas.*

Para la realización de mezclas de grava y arcilla, incluido el estabilizador, mezclar 50% de grava en proporciones ponderales de 35% de piedra de 1" y 15% de piedra triturada de ½", y 50% de arcilla en proporciones ponderales de 15% de arena arcillosa y 35% de material propio.

**Tabla 14.**

*Dosificaciones para Subrasante Estabilizada con grava y arcilla*

Dosificación	Grava (%)	Arcilla (%)
M1	50	50

### 3.3.5 *Pruebas de las propiedades mecánicas y físicas de la subrasante estabilizada*

Las características físicas y mecánicas de la subrasante estabilizada se evaluarán mediante los siguientes ensayos:

- ✓ Ensayo de C. Humedad
- ✓ Ensayo de A. Granulométrico
- ✓ Ensayo de L. Líquido
- ✓ Ensayo de L. Plástico
- ✓ Ensayo de Equivalente de arena
- ✓ Ensayo de Proctor modificado
- ✓ Ensayo de (CBR)

### 3.3.6 *Elaboración en laboratorio de mecánica de suelos*

#### 3.3.6.1 **Ensayo de contenido de humedad**

La norma técnica peruana NTP 339.127 exige una prueba para determinar el contenido de agua de un material, incluidos los áridos o el suelo, a fin de comprender cómo se ven afectadas las características físicas del material, como el peso y la compactibilidad.

#### **Procedimiento del ensayo:**

Se deposita una muestra y se mide el peso de una tara metálica como parte del procedimiento. Posteriormente, la muestra húmeda se seca durante unas 24 horas a  $110 \pm 5$  °C en un horno de ambiente controlado, con una precisión de 0,01 g. No se ofrece información sobre la reescritura académica.

#### **Figura 9.**

*Muestras en el Horno*



#### 3.3.6.2 **Ensayo de análisis granulométrico agregado fino**

El análisis granulométrico, que evalúa el comportamiento del material en condiciones de carga y compactación y es esencial para el diseño y la construcción de

pavimentos y estructuras, se describe en la NTP 339.128. Se centra en la distribución granulométrica del suelo y los áridos. Se centra en la distribución del tamaño de las partículas en el suelo y los áridos.

### **Procedimiento del ensayo:**

Para garantizar una elevada pureza y claridad del agua, pese una muestra antes de romperla y fíltrela a través de un tamiz de malla de 200 mm. Tras un proceso de secado controlado en estufa durante 24 horas a 110 °C, la muestra debe tamizarse sucesivamente utilizando tamices de tamaño progresivo. Esto garantiza que el producto acabado tendrá un alto nivel de pureza y claridad.

### **Figura 10.**

*Tamizado de las muestras del suelo*



### **3.3.6.3 Límites de consistencia (ATTERBERG)**

#### **▪ Ensayo Límite Líquido**

Según la NTP 339.129, el contenido de humedad en el que el suelo pasa del estado plástico al líquido se conoce como límite líquido del suelo. Este nivel de

humedad es importante para determinar la estabilidad del suelo y su capacidad de deformación cuando está saturado.

### **Modo del ensayo:**

Con una malla del n° 40, se tamiza una muestra seca de 150 g; el material sobrante se desecha. A continuación, el material se somete a un periodo de reposo de 24 horas y a un análisis granulométrico. Mediante moldeo, se obtiene una muestra circular, con un máximo de un centímetro de profundidad. Para mantener la sustancia confinada en el interior de la cuchara, se hace una ranura a lo largo del diámetro y la línea media utilizando una herramienta de ranurado. Sobre una mesa de cristal, la muestra se enrolla físicamente entre los dedos utilizando un material de barrera líquida. La muestra se seca utilizando palillos cilíndricos, y la mano oscila a una frecuencia de 0,80 a 0,90 ciclos por minuto entre dos sitios. Las varillas cilíndricas de 3,2 mm de diámetro que se fabricaron permitieron observar grietas superficiales.

### **Figura 11.**

#### *Ensayo de Limite Liquido*



- **Ensayo de Límite Plástico**

Para comprender la plasticidad del suelo y su comportamiento bajo tensión, la NTP 339.129 contiene el ensayo del límite plástico, que mide el contenido de humedad al que un suelo puede deformarse sin romperse.

**Procedimiento:**

La muestra se trabaja físicamente con varillas cilíndricas para extraer la humedad y el material límite líquido. El método de laminado en vidrio alterna continuamente a una velocidad de 0,80 a 0,90 ciclos por minuto. Las varillas obtenidas tienen un diámetro de 3,2 mm y presentan grietas superficiales.

**Figura 12.**

*Ensayo de Limite Plastico*



#### **3.3.6.4 Ensayo de equivalente de arena**

La prueba del equivalente en arena, descrita en la NTP 339.146, determina la cantidad de material fino que contiene el árido en comparación con la arena. Los porcentajes mayores indican un mayor contenido de arena, y el objetivo del ensayo es evaluar el efecto de los finos arcillosos en la resistencia y longevidad del hormigón.



La proporción de arena y partículas en la muestra de áridos determina la cantidad de arena en la muestra. Para las clases de exposición típicas, los equivalentes de arena son  $> 75$ , y para otras condiciones,  $\geq 80$ . Si se supera la prueba del azul de metileno, pueden aprobarse las arenas fabricadas a partir de la trituración de rocas dolomíticas o calizas que contengan al menos un 70% de calcita, dolomita o ambas. Los finos que no son arenosos se hunden en el fondo de la mezcla.

### **Material utilizado**

A modo de comparación, se utilizan dos muestras de arena con un peso total de 120 gramos. Otras herramientas son un agitador, un tubo de irrigación, una pinza, una varilla lastrada, una probeta graduada y un recipiente con salida para la solución de limpieza.

### **Procedimiento:**

En un tubo de ensayo se añade la solución patrón, se vierte la muestra de arena, se liberan las burbujas golpeando el fondo y se deja reposar el tubo durante diez minutos. Se tapa el tubo y se agita noventa veces en treinta segundos para desplazar la muestra veinte centímetros. Utilizar una solución de lavado para limpiar las paredes interiores y el tapón. Se puede dejar que la muestra se atasque colocando un tubo de irrigación en el fondo y levantándolo gradualmente. Tras veinte minutos de reposo, compara los valores  $h_1$  y  $h_2$  de las dos muestras.

**Figura 13.**

*Ensayo de equivalente de arena*



### 3.3.6.5 Proctor modificado

Con el fin de asegurar una compactación adecuada para sostener las cargas especificadas, es imperativo determinar el contenido de humedad ideal y la relación de densidad en el suelo para la construcción utilizando la prueba Proctor modificada, según la NTP 339.141.

#### **Procedimiento del ensayo:**

Una muestra de 40 kg debe dejarse secar al aire antes de desmontarla utilizando un mazo de goma en las partes más grandes. Utilizando medidas precisas, eliminar las partículas recogidas durante la fase de amasado. Los procedimientos de ensayo vienen determinados por el análisis granulométrico; el método A o el método B requieren una muestra de 2,5 kg, mientras que el método C requiere una muestra de 6 kg. Tras obtener una mezcla homogénea, se transfiere en cinco partes iguales y se mezcla o agita con un 2% o 4% de agua antes de la compactación en caída libre. Para medir el contenido de humedad de la muestra, se corta una sección específica y se desecha la porción restante. Coloque la muestra en un recipiente metálico.

**Figura 14.**

*Ensayo de Proctor*



### **3.3.6.6 Ensayo (CBR)**

Como se indica en la NTP 339.145, el ensayo de capacidad portante de California (CBR) es una herramienta esencial para el diseño de pavimentos. Evalúa la capacidad del suelo para soportar cargas y la resistencia a la penetración, lo que ayuda a determinar el espesor de la capa de firme.

#### **Modo del ensayo:**

Para crear una mezcla homogénea para la prueba del coeficiente de soporte de California (CBR), se debe dividir una muestra seca en cinco secciones iguales. Después de insertar el espaciador y el papel de filtro en el molde, se llevan a cabo 56 golpes de compactación. Se producen treinta y cinco efectos de impacto en la segunda muestra, cincuenta y seis efectos de caída libre en la primera muestra y doce efectos en la tercera muestra. Los moldes de lectura se sumergen una vez cada 24 horas durante cuatro días con ayuda de un extensómetro. El espécimen se introduce en la prensa para medir la cantidad de carga aplicada después de sacar los moldes del agua y dejarlos escurrir durante quince

minutos. Cuando se acciona el pistón, se utilizan diales de carga para medir los niveles de penetración a una velocidad de penetración constante.

### **Determinación del C.B.R. de diseño**

Se utilizan calicatas de prueba para obtener los valores C.B.R., y se utiliza el criterio del Instituto del Asfalto para determinar el valor de resistencia de diseño. El criterio recomienda utilizar un valor total del 60%, 75% u 87,5% de valores particulares que coincidan o superen los escenarios de tráfico mostrados en la Tabla 4.

### **Figura 15.**

*Compactando la Muestra*





## 4 CAPITULO IV

### ANALISIS Y RESULTADOS

#### 4.1 Presentación de resultados de la investigación

Nuestro objetivo principal era mejorar la calzada Tiquillaca-Quilicane combinando grava y arcilla para optimizar el valor relativo del puente. Para lograrlo, utilizamos herramientas de Microsoft Excel para evaluar y comparar los datos de cada prueba de laboratorio.

Utilizando pruebas como el tamizado, los límites de Atterberg, la prueba Proctor y el CBR, la primera parte de nuestros datos se centra en evaluar y describir la capacidad portante relativa de la carretera Tiquillaca - Quilicane.

Utilizando pruebas como el tamizado, los límites de Atterberg, la prueba Proctor y el CBR, la primera parte de nuestros datos se centra en evaluar y describir la capacidad portante relativa de la carretera Tiquillaca - Quilicane.

## 4.2 Resultados de la carretera Tiquillaca – Quilicane

A través de pruebas de laboratorio, se lograron los objetivos precisos de caracterizar y evaluar la capacidad portante de la carretera Tiquillaca - Quilicane.:

### 4.2.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad de los suelos, que se estableció para las tres fosas, afecta a la resiliencia de la subrasante.

**Tabla 15.**

*Resumen de contenido de humedad*

Contenido de humedad	Medición (%)
C - 1	8.8
C - 2	9.1
C - 3	8.9

### 4.2.2 Análisis granulométrico

Según el MTC (2016), el objetivo del análisis granulométrico empleando calicatas extraídas es conocer cuantitativamente la distribución de los diámetros de las partículas del suelo.

**Tabla 16.**

*Resumen del análisis granulométrico*

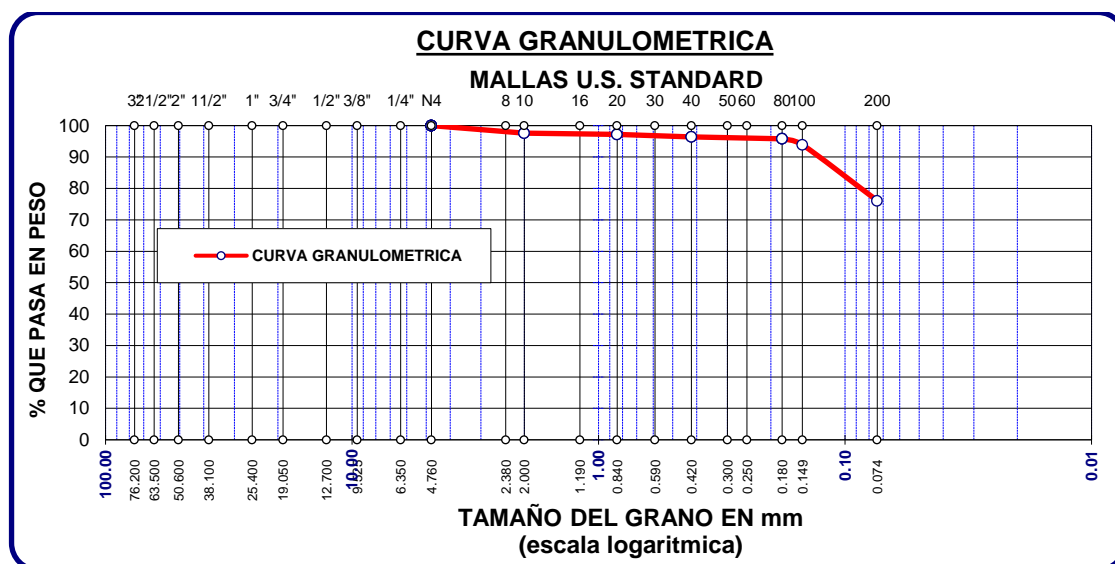
Análisis granulométrico				
Tamiz		% Que pasa		
#	mm	C - 1	C - 2	C - 3
4	4.75	100	100	100
10	2.00	97.70	98.29	97.60
20	0.85	97.90	97.11	97.20

40	0.42	94.70	95.71	96.40
80	0.18	93.40	94.19	95.80
100	0.15	90.20	92.79	93.90
200	0.08	71.20	68.31	76.10

La tabla 16 ilustra que la C-3 tiene el mayor porcentaje de pozos que pasan la malla #200, mientras que la C-2 tiene el menor porcentaje.

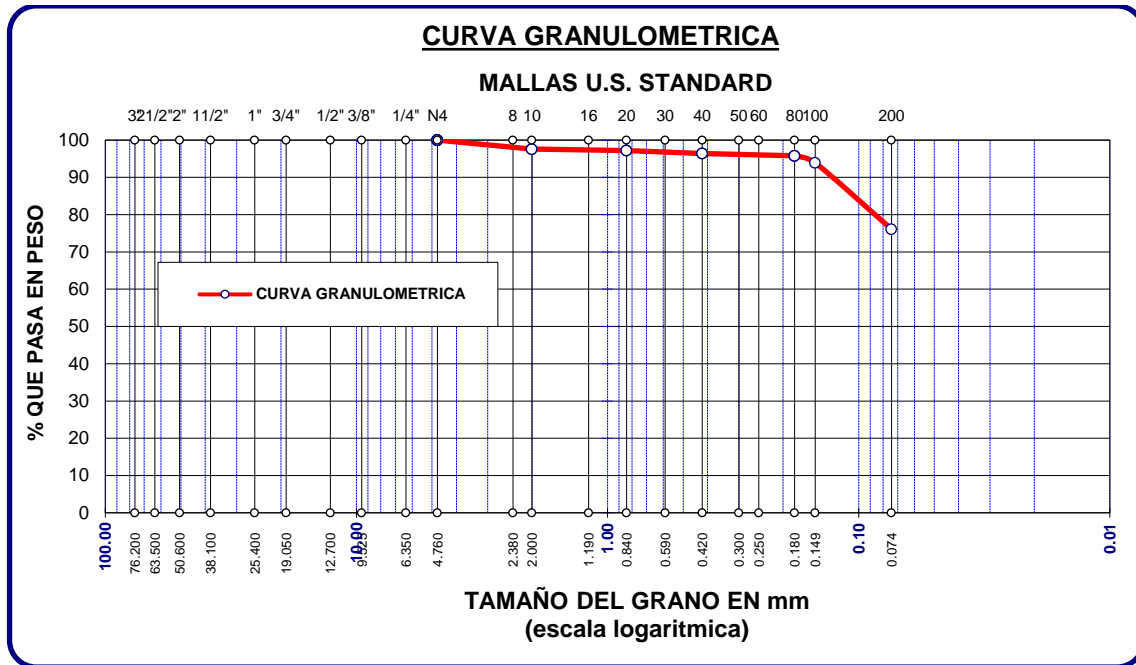
**Figura 16.**

*Curva granulométrica C - 1*



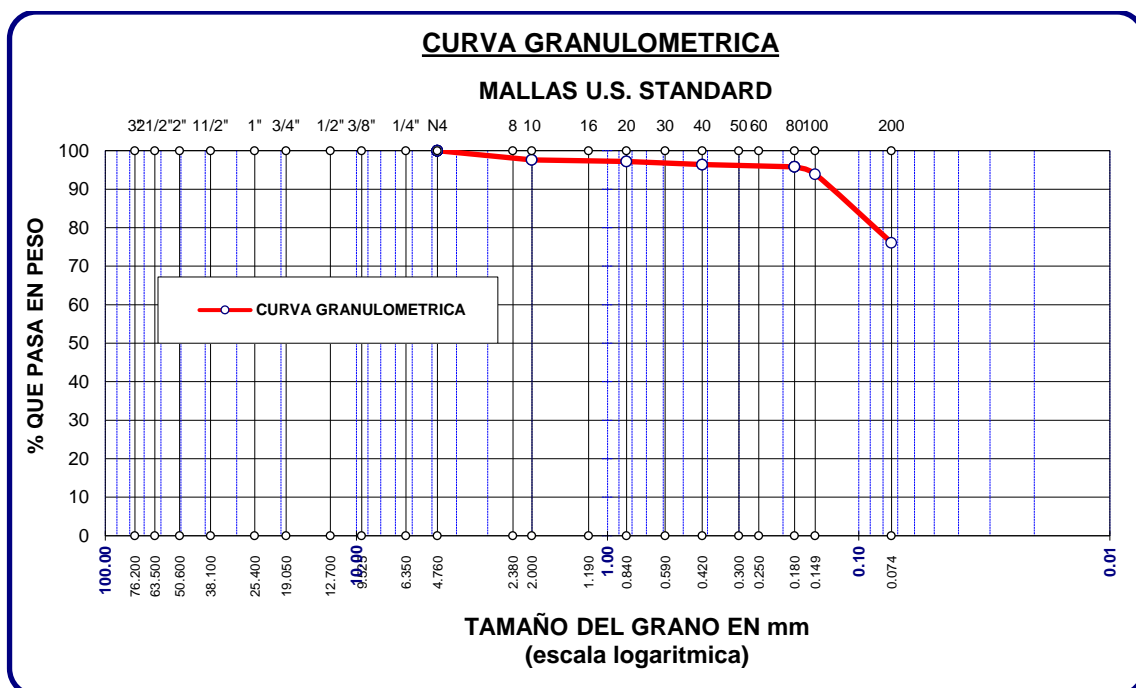
**Figura 17.**

*Curva granulométrica C - 2*



**Figura 18.**

*Curva granulométrica C - 3*



### 4.2.3 Límites de Atterberg

Basándose en el comportamiento del contenido de humedad del suelo, la prueba determina la sensibilidad, como se muestra en una tabla con datos de laboratorio.

**Tabla 17.**

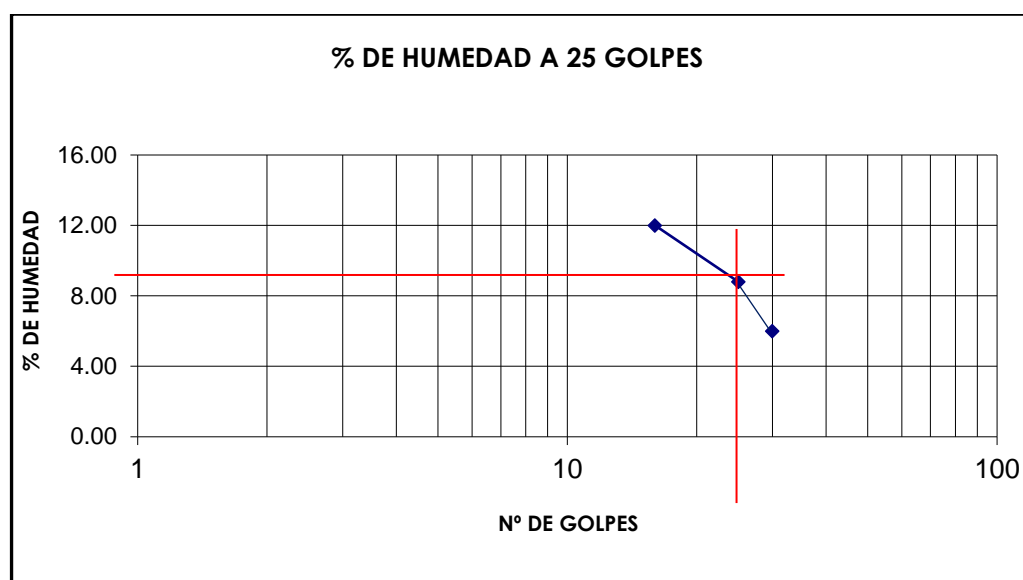
*Resumen de Límites de Atterberg*

Límites de Atterberg	C - 1	C - 2	C - 3
Límite líquido	33.3	32.6	35.1
Límite plástico	18.8	21.1	19.9
Índice de plasticidad	16.5	13.7	17.4

Los resultados de nuestros pozos de prueba a 25 golpes en el vaso Casa Grande se muestran en la Tabla 17. En el límite líquido, C-3 tiene el mayor porcentaje, mientras que, en el límite plástico, C-2 tiene el mayor porcentaje.

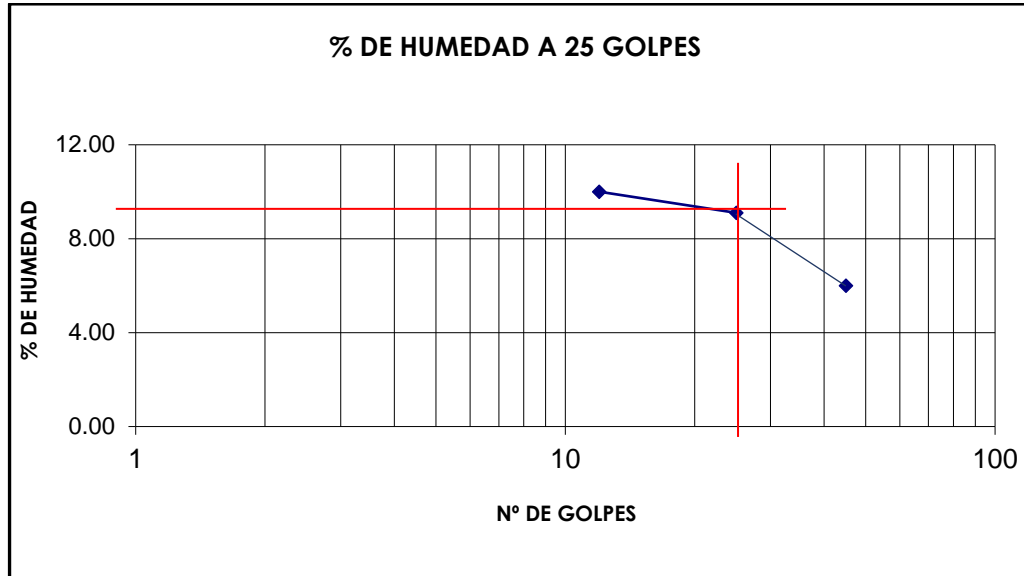
**Figura 19.**

*Grafica del límite líquido C - 1*



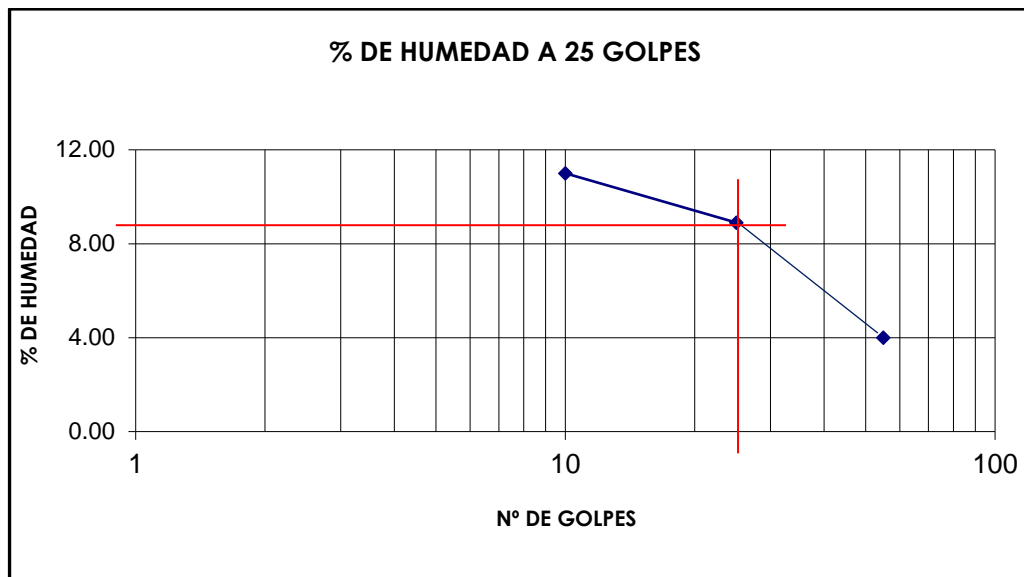
**Figura 20.**

*Grafica del límite liquido C - 2*



**Figura 21.**

*Grafica del límite liquido C - 3*



#### 4.2.4 *Equivalente de arena*

Estos resultados son sencillos de aplicar, pero tienen una precisión menor; se basan en las limitaciones de Atterberg halladas anteriormente.

**Tabla 18.** *Resumen de equivalente de arena*

Ensayo de equivalente de arena		
Muestras	Arena	Finos
C - 1	28.79	70.19
C - 2	32.20	69.30
C - 3	23.91	75.11

El manual de carreteras establece que el suelo no es muy flexible y no se huela si el equivalente de arena se sitúa entre  $40 > EA > 20$ .

#### 4.2.5 Índice de grupo

El suelo de la subrasante se clasifica por límites de Atterberg según su calidad, siendo 0 un suelo muy bueno y  $> 20$  un material desaconsejado para su uso en carreteras.

**Tabla 19.**

*Resumen del índice de grupo*

Índice de grupo: $IG = 0.2(a) + 0.005(ac) + 0.01(bd)$		
Muestras	IG	Tipo de subrasante
C - 1	9.23	Muy pobre
C - 2	8.06	Pobre
C - 3	10.65	Muy pobre

El índice normalizado AASTHO se utiliza para categorizar los suelos, y nuestros resultados muestran que el suelo de la subrasante en nuestros pozos es bastante pobre.

#### 4.2.6 Clasificación de los suelos

La técnica de clasificación del suelo tendrá en cuenta los resultados de experimentos anteriores, principalmente el análisis granulométrico y los límites de Atterberg, y seguirá las tablas 21 y 22 del Manual de Carreteras.

**Tabla 20.**

*Resumen de clasificación de suelos*

Clasificación de suelos		
Muestras	ASSHTO	SUCS
C - 1	A6	CL.CH
C - 2	A6	C.H
C - 3	A6	C.H

Los resultados de las tres muestras de suelo son idénticos, mostrando que la SUCS clasifica el suelo como arcilloso con alta plasticidad y la AASHTO lo define como limo arcilloso fino con una clasificación de regular a insatisfactoria.

**Tabla 21.**

*Clasificación de suelos según SUCS*

DIVISIONES MAYORES		SÍMBOLO DE GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN PARA SUELOS GRANULARES		
Suelos de grano grueso (más del 50% del material es mayor en tamaño que el tamiz n° 200)	Gravas (más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N° 4)	Gravas Limpias (poco o ningún fino)	GW	Gravas bien gradadas, mezclas gravosas poco o ningún fino	Cu>4 1< Cc<3	
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	GP	Gravas pobremente gradadas, mezclas grava - arena, poco o ningún fino	No cumple todos los requisitos de gradación para Gw	
			GM	Gravas limosas, mezcla grava - arena - limo	Límites de Atteberg por debajo de la línea A o Ip <4	A los materiales sobre la línea A con 4< Ip<7 se considera de frontera y se les asigna doble símbolo
		GC	Gravas arcillosas, mezcla grava - arena - arcillosas	Límites de Atteberg por encima de la línea A o Ip > 7		
	Arenas (más de la mitad de la fracción gruesa es menor que el tamiz N°4)	Arenas Limpias (poco o ningún fino)	SW	Arenas bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	Cu>6 1< Cc<3	
			SP	Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	No cumplen todos los requisitos de gradación para SW	
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	SM	Arenas limosas mezcla de arena - limo	Límites de Atteberg por debajo de la línea A o Ip <4	A los materiales sobre la línea A con 4< Ip<7 se considera de frontera y se les asigna doble símbolo
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena - arcilla	Límites de Atteberg por encima de la línea A o Ip > 7	

*Nota:* (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

**Tabla 22.**

*Clasificación de suelos según ASSTHO*

Clasificación general	Suelos granulosos 35% máximo que pasa por tamiz de 0,08mm							Suelos finos más de 35% pasa po el tamiz de 0.08 mm				
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7	
Grupo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6
Simbolo												
Analisis granulométrico												
%% que pasa por el tamiz												
2 mm	máx.50											
0.5 mm	máx.30	máx.50	máx.50									
0.08 mm	máx.15	máx.25	máx.10	máx.3 5	máx.3 5	máx.3 5	máx.3 5	mín.3 5	mín.3 5	mín.3 5	mín.35	mín.35
Limites Atterberg				máx.4 0	min.4 0	máx.4 0	min.4 0	máx.4 0	máx.4 0	máx.4 0	min.40	min.40
Límite de liquidez índice de plasticidad	máx.6	máx.6		máx.1 0	máx.1 0	min.1 0	min.1 0	máx.1 0	máx.1 0	min.1 0	min.10 IP<LL-30	min.10 IP<LL-30
Índice de grupo	0	0	0	0	0	máx.4	máx.4	máx.8	máx.1 2	máx.1 6	máx.20	máx.20
Tipo de material	Piedras, gravas y arena		Arena Fina	Gravas y arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcilloso		
Estimación general del suelo como subrasante	De excedente a bueno						De pasable a malo					

*Nota:* (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

### 4.2.7 Ensayo Proctor

El ensayo Proctor ayuda a representar visualmente la relación entre el contenido de agua y el peso unitario seco de cada muestra de suelo.

**Tabla 23.**

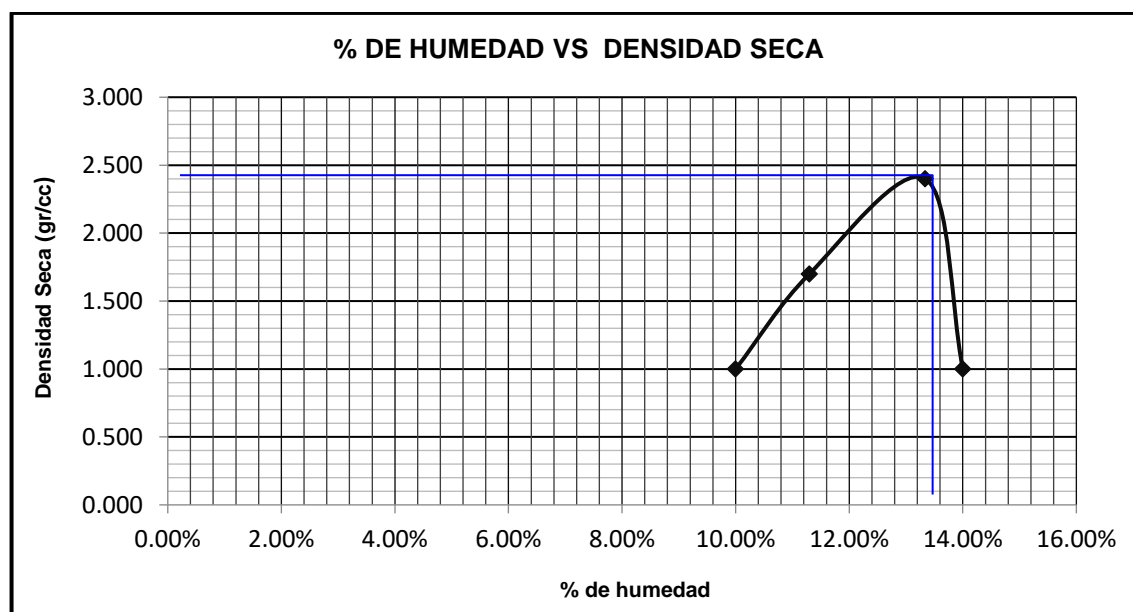
*Resumen del ensayo de Proctor*

Resultados de Proctor		
Muestras	HO (%)	M. densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )
C - 1	13.34	2.4
C - 2	11.76	1.95
C - 3	12.31	1.96

Los resultados de la Tabla 13 exponen que hay poca o ninguna variación entre nuestras muestras de suelo.

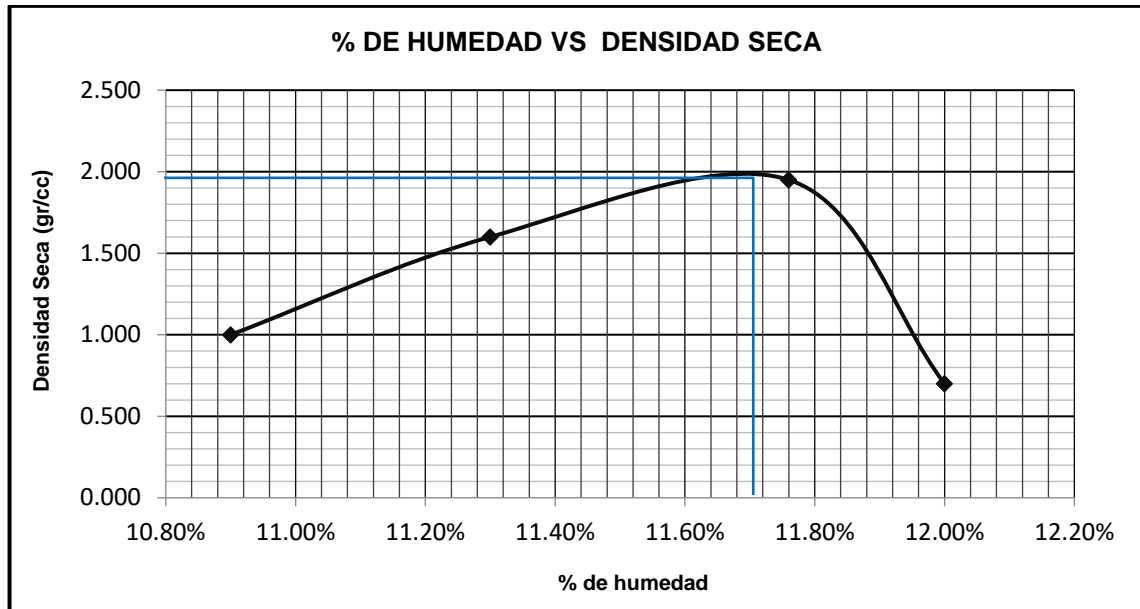
**Figura 22.**

*Ensayo de Proctor C - 1*



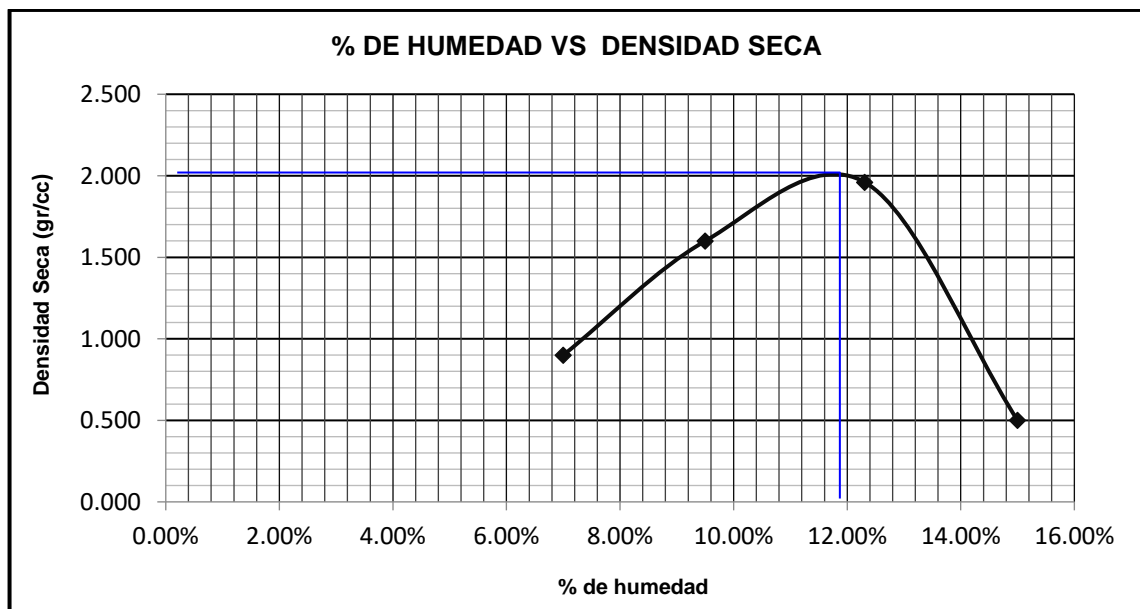
**Figura 23.**

*Ensayo de Proctor C - 2*



**Figura 24.**

*Ensayo de Proctor C - 3*



#### 4.2.8 California Bearing Ratio

Mediante el examen de muestras en un laboratorio con humedad y densidad variables, el ensayo CBR determina la resistencia del suelo.

**Tabla 24.**

*Resumen del ensayo de CBR*

Resultados CBR		
Muestras	Penetración 0.2" 95% (56 golpes)	% de expansión
C – 1	2.00	5.28
C – 2	2.00	6.12
C – 3	2.00	5.70

Nuestros datos indican un porcentaje medio de expansión de 5,7. El Manual de Carreteras establece que un CBR de al menos el 3% Una subrasante se considera mala si su CBR es inferior al 6% (S1).

#### 4.2.9 Dosificación de la mezcla de grava y arcilla

El diseño de la mezcla satisface los requisitos para una Sub-base Granular adecuada con una dosis apropiada de 50% de grava y 50% de arcilla, distribuidos de la siguiente manera: 35% Piedra de 1", 15% Piedra Triturada de ½", 15% Arena Arcillosa y 35% Material Propio.

#### 4.2.10 Valor relativo de soporte de la mezcla grava y arcilla

Como parte de nuestro cuarto objetivo, se llevó a cabo la prueba CBR para evaluar la resistencia de la nueva subrasante de la carretera Tiquillaca - Quilicane.

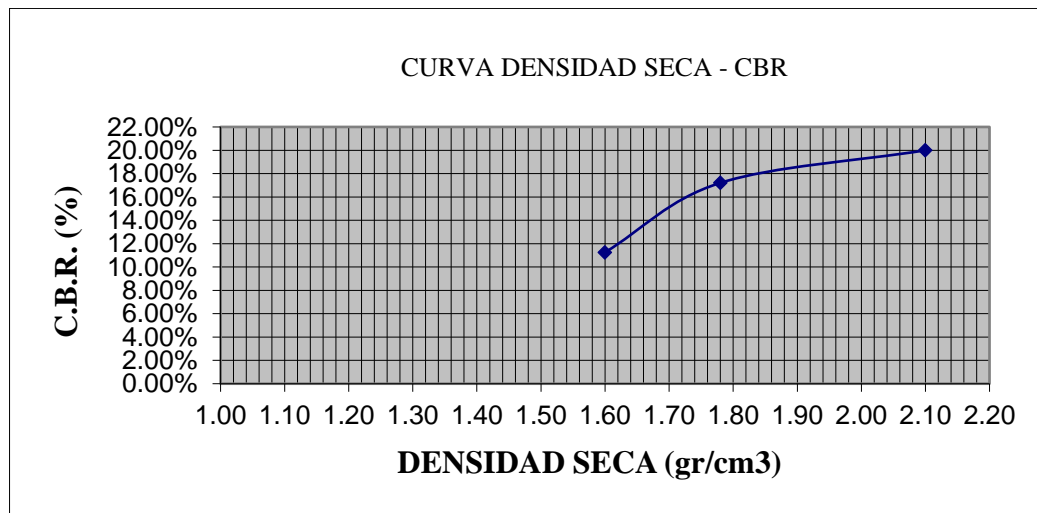
**Tabla 25.**

*Resumen del valor relativo (CBR) de la mezcla de grava y Arcila*

Resultado CBR	
Máxima densidad seca (kg/ccm3)	1.78
Contenido de humedad (%)	11.8
Máxima densidad seca al 95% (kg/cm3)	1.71
Valor relativo de soporte al 100% a 2"	19.5

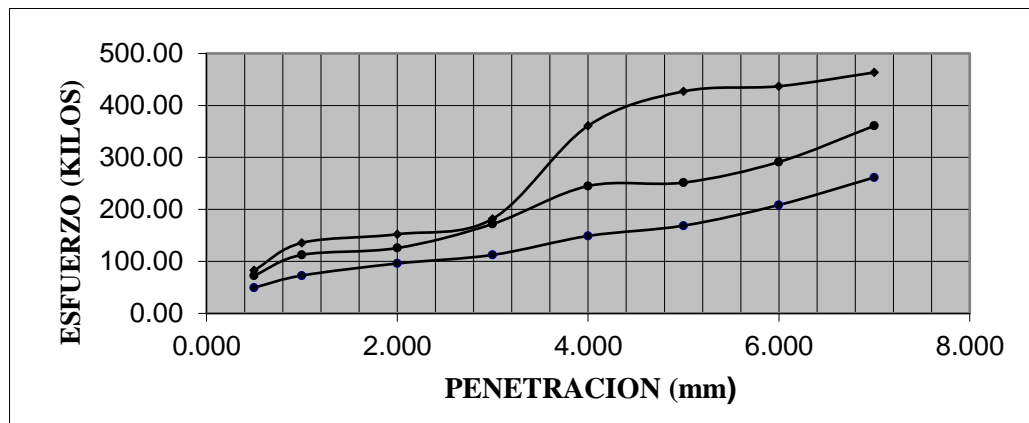
**Figura 25.**

*Grafica de máxima densidad seca*



**Figura 26.**

*CBR de la mezcla de Grava y Arcilla*





### 4.3 Discusión de los resultados

Mediante la mezcla de grava y arcilla, el estudio de investigación busca aumentar el valor portante de la carretera Tiquillaca - Quilicane. Para ello, se examinaron los fundamentos teóricos y parámetros necesarios del proyecto, garantizando el avance y cumplimiento de sus objetivos.

Mediante la mezcla de grava y arcilla, el estudio de investigación busca aumentar el valor portante de la carretera Tiquillaca - Quilicane. Para ello, se examinaron los fundamentos teóricos y parámetros necesarios del proyecto, garantizando el avance y cumplimiento de sus objetivos.

Según los resultados de las pruebas, el suelo a lo largo de la carretera Tiquillaca-Quilicane es arcilloso, lo que significa que construir allí es inapropiado, ya que puede separarse de las estructuras al expandirse con la humedad.

Para un objetivo determinado, se determinó que la proporción recomendada de grava y arcilla era del 50% - 50%; la proporción de arcilla se determinó en un 35% de material propio y un 15% de arena arcillosa, mientras que la proporción de grava se determinó en un 35% de piedra de 1" y un 15% de piedra triturada de 1/2".

La grava es inadecuada debido a su inestabilidad provocada por la rotura de las partículas y la falta de cohesión. Mientras que la alta fricción interna de la grava ayuda a reducir los problemas de hinchazón y consistencia en circunstancias de alta humedad, la cohesividad de la arcilla ayuda a aliviar este problema.



## CONCLUSIONES

La grava es inadecuada debido a su inestabilidad provocada por la rotura de las partículas y la falta de cohesión. Mientras que la alta fricción interna de la grava ayuda a reducir los problemas de hinchazón y consistencia en circunstancias de alta humedad, la cohesividad de la arcilla ayuda a aliviar este problema.

Los análisis granulométricos, Proctor y CBR corroboran la pobre subrasante del suelo. Está categorizado como regular a pobre por la AASHTO, fino con componentes arcillosos limosos, y suelo arcilloso con alta flexibilidad por la SUCS.

Una sub-base granular adecuada debe tener 50% de arcilla y 50% de grava, mezclada con 35% de material propio, 15% de piedra triturada de ½", 15% de arena arcillosa y 35% de piedra de 1".

Según la prueba CBR, la adición de una mezcla de grava y arcilla a la carretera Tiquillaca - Quilicane aumenta la capacidad portante del suelo de 5,7% a 19,5%.



## RECOMENDACIONES

Antes de iniciar cualquier proyecto, se debe realizar un análisis exhaustivo del suelo para ver si es apto para la construcción o no, y entonces podrá seleccionar el producto químico estabilizador que recomiende el MTC.

Se aconseja seguir las especificaciones y directrices técnicas del MTC, ya que se obtendrán suelos de calidad superior y más resistentes a los esfuerzos intensos.

Para pavimentar la ruta Tiquillaca - Quilicane será imprescindible mejorar el suelo, ya que actualmente es inestable e inadecuado para la construcción y propenso a la erosión.

En el caso de que se utilicen diferentes tipos de materiales para mejorar la carretera Tiquillaca - Quilicane, nuestro esfuerzo de estudio proporcionará una línea de base con la que comparar nuestros resultados.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANGULO ROLDAN, Diego y ROJAS ESCAJADILLO, Hember Femilanio. 2016. *Ensayo de fiabilidad con aditivo PROES para la estabilización del suelo en el AA.HH El Milagro, 2016. 2016.*

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. 2013. *Manual de carreteras. 2013.*  
—. 2016. *Manual de ensayos de materiales. 2016.*

GALINDO, Paola Fernanda. 2014. *Ensayo de compactación proctor modificado. 2014.*

Anticona Castro, J. (2020). *Adición de concha de abanico triturado como elemento estabilizador en suelos arenosos. Lima.*

Apac Jesus, J. S. (2020). *Estabilización de suelos blandos con valva de conchas de abanico para la subrasante tramo 0+0.6 km Cañete 2020. Lima.*

Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la investigación. Colombia.*

Carrasco Diaz, S. (2006). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA. Lima: San Marcos.*

Castro cuadra, A. f. (2017). *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.*

Castro Merchan, D. M. (2020). *MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES CON ROCA IGNEA*



*Cuadros Surichaqui, C. M. (2017). Mejoramiento de las propiedades Físico-Mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la Región Junín mediante la estabilización Química con Oxido de Calcio. Huancayo.*

*Cuipal Chávez, B. K. (2018). Estabilización de la subrasante de suelo arcilloso con uso de polímero sintético en la carretera Chachapoyas - Huancas, Amazonas, 2018. Lima.*

*Dirven , B. B., Pérez, R., Cáceres, R. J., Tito, A. T., Gómez , R. K., & Ticona, A. (2018). El desarrollo rural establecido en las áreas Vulnerables. Lima: Colección Racso.*

*Domínguez Granada, J. (2007). Dinamica de Tesis (Vol. Tercera Edición). Lima.*

*Geotecnia. (12 de 11 de 2022). GEOTECNICA FACIL. Obtenido de <https://geotecniafacil.com/ensayo-cbr-laboratorio/>*

*Geremew, A., & Basha, F. (2018). Estudios experimentales de rendimiento sobre la formacion de suelo de subrasante expansiva mejorada mediante el uso de extabilizacion mecánica con grava natural . Etiopía.*

*Mory Espinoza, W. A. (2020). Efecto de la incorporación de las cenizas de cáscara de arroz en subrasantes arenosas. Piura.*

*MTC. (2013). Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. sección Suelo y Pavimento. Lima.*

*MTC. (2016). Manual de ensayo de materiales. Lima.*

*Ramírez González, A. (2010). Metodología de la Investigación Científica. Bogotá.*

*Requejo Carrillo, R. S. (2020). Estabilizacion de suelos arenosos utilizando arroz. Pimentel.*



*Reyes López, O., Blanco Sánchez, J., & Chao González, M. M. (2014). Metodología de la Investigación para Cursos en Línea. Guanajuato: Académicos Internacionales.*

*Roldan, J. (2010). Estabilización de suelos con cloruro de sodio. Formulación de criterios de estabilización de taludes compuestos por cenizas volcánicas mediante el tratamiento químico de los suelos, 80-91.*

*Sanchez Carlessi, H., & Reye Meza, C. (2006). Metodología y diseño en la investigación científica. Lima: Visión Universitaria.*

*Santa Cruz Marín, J. D. (2019). Determinación del espesor de mejoramiento de subrasante con presencia de suelos blandos. Lima.*

*Sreenivasulu, C., Sravani, T., Seshalalitha, M., & Pavani, R. (2016). INFLUENCIA DE LA FRACCIÓN GRUESA EN LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN Y RESISTENCIA CBR DE UN SUELO DE GRANO FINO. Anantapur.*

*T. Molina, J. (2009). El Método Científico Global.*

*Titanium, K. (2 de octubre de 2022). uDocz. Obtenido de uDocz: <https://www.udocz.com/apuntes/262938/que-es-cohesion-y-angulo-de-friccion-interna>*

*Tovar, G. L. (1986). El asentamiento y la segregación de los Blancos y Mestizos. Bogotá: Cengage.*

*Velásquez Pereyra, C. (2018). INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE. Cajamarca.*



# ANEXOS



## **ANEXOS 01**

### **MATRIZ DE CONSISTENCIA**



INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
<p><b>Pregunta general:</b></p> <p>¿En qué medida la aplicación de una combinación de grava y arcilla afectaría la cantidad proporcional de soporte necesario para estabilizar la subrasante en las carreteras de la provincia de Puno?</p> <p><b>Preguntas específicas:</b></p> <p>¿Cuáles son los valores de las características de suelo natural de la subrasante en la carretera Tiquillaca – Quilicane?</p> <p>¿Cuál es la proporción ideal de arcilla y grava para mejorar la subrasante en la carretera Tiquillaca - Quilicane?</p> <p>¿Cuánto soporte proporcionará una mezcla de grava y arcilla para la carretera Tiquillaca - Quilicane?</p>	<p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Evaluar cómo la aplicación de la mezcla de grava y arcilla afecta el valor relativo del soporte para la estabilización de la subrasante de las carreteras de la provincia de Puno.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <p>Determinar las características de suelo natural de la subrasante en la vía comprendida Tiquillaca – Quilicane</p> <p>Determinar la óptima dosificación con grava y arcilla para mejorar la subrasante en la vía comprendida Tiquillaca – Quilicane</p> <p>Encontrar la importancia relativa del soporte de la carretera Tiquillaca - Quilicane utilizando una mezcla de grava y arcilla.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b></p> <p>El valor portante relativo del suelo estabilizado con una composición de grava y arcilla aumenta significativamente en el nivel de subrasante de la ruta Tiquillaca - Quilicane.</p> <p><b>Hipótesis específicas:</b></p> <p>Mejora la óptima dosificación con grava y arcilla para mejorar la subrasante en la vía comprendida Tiquillaca – Quilicane</p> <p>Mejorar el valor relativo de soporte de la carretera Tiquillaca - Quilicane mediante la adición de una combinación de arcilla y grava.</p>	<p><b>Variable independiente:</b></p> <p>Estabilización con grava y arcilla</p> <p><b>Variable dependiente:</b></p> <p>Valor relativo de soporte</p>	<p>%</p> <p>%</p>	<p>Grava Arcilla Óptima dosificación</p> <p>Compactación Granulometría Propiedades físicas</p>	<p><b>Tipo:</b> Aplicada</p> <p><b>Enfoque:</b> Cuantitativo</p> <p><b>Diseño:</b> Experimental</p> <p><b>Población:</b> El material que compone la subrasante de la carretera Tiquillaca - Quilicane en la provincia de Puno</p> <p><b>Muestra:</b> No Probabilística con 03 calicatas</p> <p><b>Muestreo:</b> 03 calicatas</p>



## **ANEXOS 02**

### **ENSAYOS DE LABORATORIO**



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



**PROYECTO** : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO  
**SOLICITANTE** : Bach. WILSON DAVID CHOQUE GONZALO  
**LUGAR** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UANCV  
**MUESTRA** : C - 1  
**PROFUNDIDAD** : 1.50 m  
**FECHA** : 25 DE ABRIL DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	26.35
SUELO SECO + TARRO	gr	25.04
PESO DEL TARRO	gr	10.21
PESO DEL AGUA	gr	1.31
PESO DEL SUELO SECO	gr	14.83
HUMEDAD %	%	8.8

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

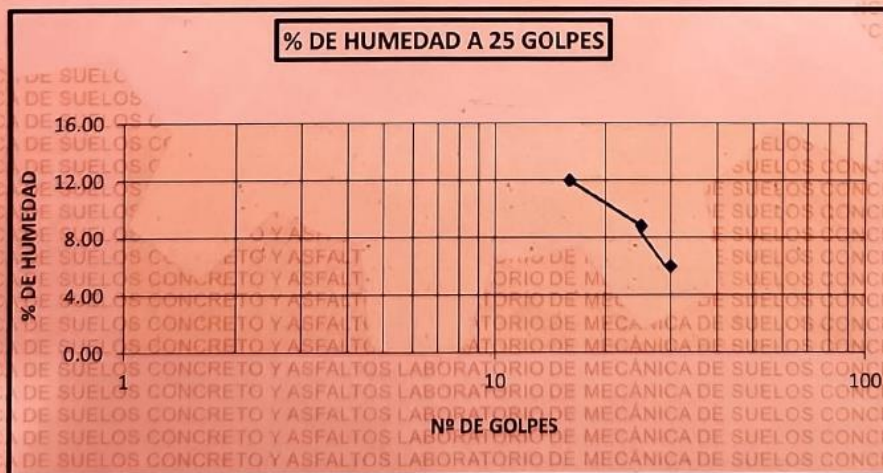
LÍMITE LÍQUIDO

LÍMITE PLÁSTICO

LÍMITE LÍQUIDO % : 33.30

LÍMITE PLÁSTICO % : 18.80

ÍNDICE PLÁSTICO % : 14.50



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

Donde:

LL = Límite Líquido

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

N = Número de Golpes

NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



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

LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA  
Firma: [Firma manuscrita]

B.N.: B006-00296174



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



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO

SOLICITANTE : Bach. WILSON DAVID CHOQUE GONZALO

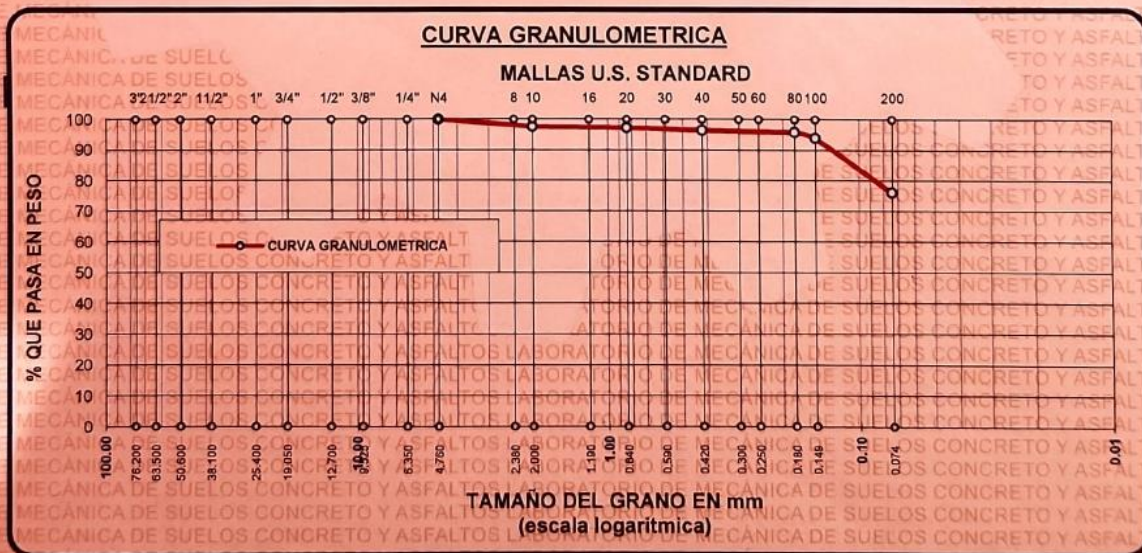
LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UANCV

MUESTRA : C - 1

PROFUNDIDAD : 1.50 m

FECHA : 25 DE ABRIL DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MAXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.I.= 640.20
2 1/2"	63.000						P.L.= 585.30
2"	50.000						P.P.= 54.90
1 1/2"	38.100						% W = 8.83
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 33.30
1/2"	12.500						L.P.= 18.80
3/8"	9.500						I.P.= 14.50
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	3.50	0.55	0.55	99.45		D10= 0.080 Cu= 3.17
No8	2.360						D30= 0.150 Cc= 1.1
No10	2.000	21.50	3.36	3.91	96.09		D60= 0.25
No16	1.180						CLASIFICACIÓN:
No20	0.850	48.20	7.53	11.43	88.57		I.G. =
No30	0.600						SUCS : CH
No40	0.425	69.20	10.81	22.24	77.76		ASSTHO : A-7
No50	0.300						OBSERVACIONES:
No60	0.250						
No80	0.180	188.20	29.40	47.74	52.26		
No100	0.150	125.80	19.65	71.29	28.71		
No200	0.075	128.90	20.13	91.42	8.58		
BASE		54.90	8.58	100.00	0.00		
TOTAL		640.20	100.00				
% PERDIDA		8.58					



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

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

Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
CIP 103257

B.N.: B006-00296174



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



**PROYECTO** INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO  
**SOLICITANTE** : Bach. WILSON DAVID CHOQUE GONZALO  
**LUGAR** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UANCV  
**MUESTRA** : C - 2  
**PROFUNDIDAD** : 1.50 m  
**FECHA** : 25 DE ABRIL DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	27.62
SUELO SECO + TARRO	gr	26.17
PESO DEL TARRO	gr	10.16
PESO DEL AGUA	gr	1.45
PESO DEL SUELO SECO	gr	16.01
HUMEDAD %	%	9.1

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

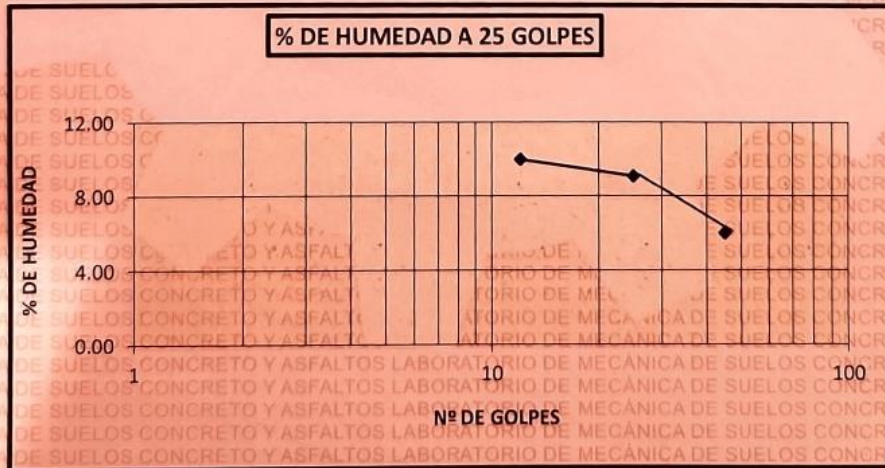
LÍMITE LÍQUIDO

LÍMITE PLÁSTICO

LÍMITE LÍQUIDO % : 32.60

LÍMITE PLÁSTICO % : 21.10

ÍNDICE PLÁSTICO % : 11.50



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

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  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
 M.S.C.A. JEFATURA  
 Mr. Arnaldo Yana Torres

B.N.: B006-00296174



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



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**PROYECTO** : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO

**SOLICITANTE** : Bach. WILSON DAVID CHOQUE GONZALO

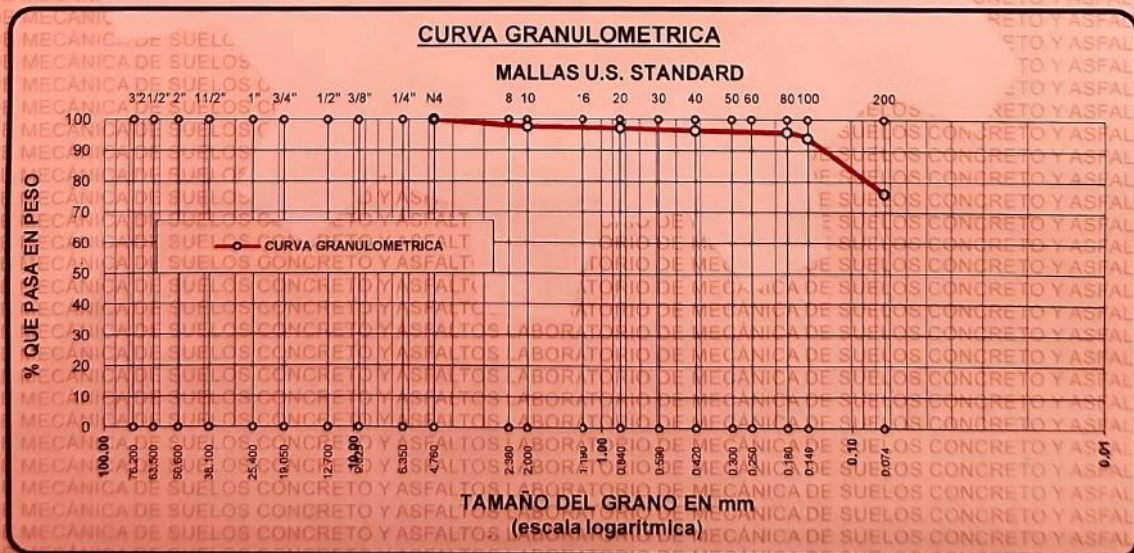
**LUGAR** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UANCV

**MUESTRA** : C - 2

**PROFUNDIDAD** : 1.50 m

**FECHA** : 25 DE ABRIL DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO:
3"	75.000						<b>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA</b>
2 1/2"	63.000						P.I.= 640.00
2"	50.000						P.L.= 586.40
1 1/2"	38.100						P.P.= 53.60
1"	25.000						% W = 8.83
3/4"	19.000						<b>LIMITES DE CONSISTENCIA:</b>
1/2"	12.500						L.L.= 32.60
3/8"	9.500						L.P.= 21.10
1/4"	6.300						I.P.= 11.50
No4	4.750	4.10	0.64	0.64	99.36		<b>CARACT. GRANULOMÉTRICAS:</b>
No8	2.360						D10= 0.081 Cu= 3.14
No10	2.000	21.50	3.36	4.00	96.00		D30= 0.150 Cc= 1.09
No16	1.180						D60= 0.25
No20	0.850	47.80	7.47	11.47	88.53		<b>CLASIFICACIÓN:</b>
No30	0.600						I.G. = :
No40	0.425	68.30	10.67	22.14	77.86		<b>SUCS : CH</b>
No 50	0.300						<b>ASSTHO : A-7</b>
No60	0.250						<b>OBSERVACIONES:</b>
No80	0.180	189.50	29.61	47.75	52.25		
No100	0.150	126.30	19.73	71.48	28.52		
No200	0.075	128.90	20.14	91.63	8.38		
<b>BASE</b>		53.60	8.38	100.00	0.00		
<b>TOTAL</b>		640.00	100.00				
<b>% PERDIDA</b>		8.38					



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
M.S.C.A. JEFATURA  
Ing. Arnaldo Yana Torres

B.N.: B006-00296174



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



**PROYECTO** INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO

**SOLICITANTE** Bach. WILSON DAVID CHOQUE GONZALO

**LUGAR** LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UANCV

**MUESTRA** C - 3

**PROFUNDIDAD** 1.50 m

**FECHA** 25 DE ABRIL DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	25.88
SUELO SECO + TARRO	gr	24.68
PESO DEL TARRO	gr	11.23
PESO DEL AGUA	gr	1.20
PESO DEL SUELO SECO	gr	13.45
HUMEDAD %	%	8.9

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

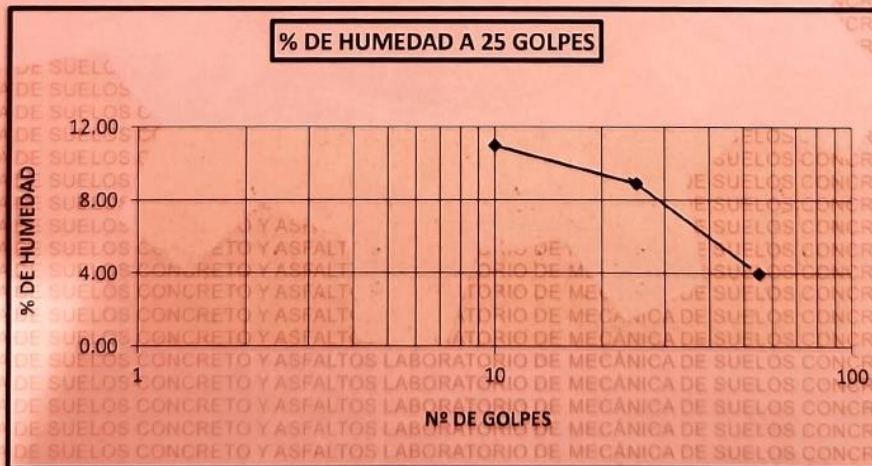
LÍMITE LÍQUIDO

LÍMITE PLÁSTICO

LÍMITE LÍQUIDO % : 35.10

LÍMITE PLÁSTICO % : 19.90

ÍNDICE PLÁSTICO % : 15.20



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

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

NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

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

LABORATORIO M.S.C.A. JERÓNIMO

M. Sc. Arnaldo Yana Torres

B.N.: B006-00296174



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



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422) ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

**PROYECTO** : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO

**SOLICITANTE** : Bach. WILSON DAVID CHOQUE GONZALO

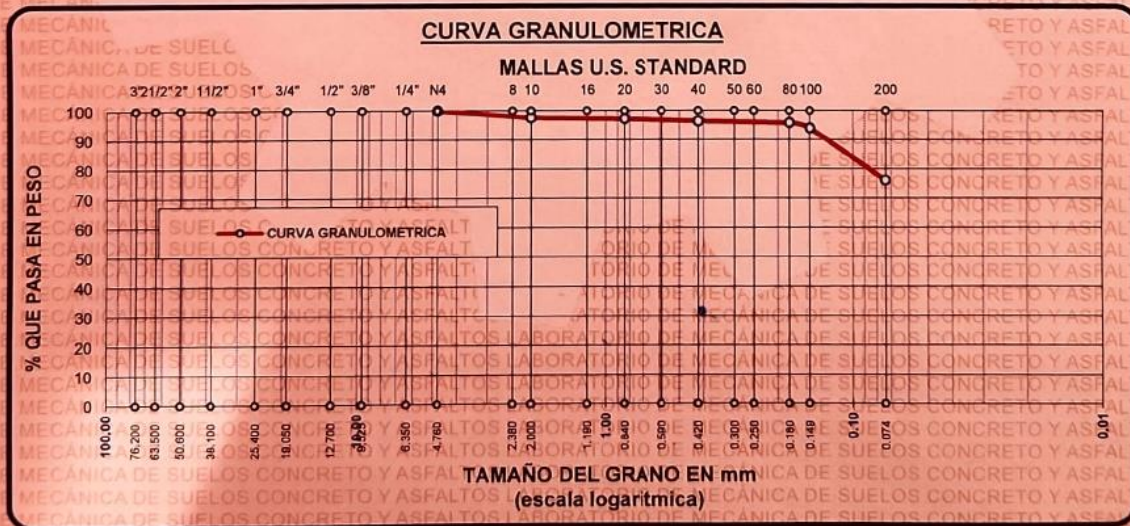
**LUGAR** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UANCV

**MUESTRA** : C - 3

**PROFUNDIDAD** : 1.50 m

**FECHA** : 25 DE ABRIL DEL 2024

TAMIGES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MAXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.I.= 600.70
2 1/2"	63.000						P.L.= 557.70
2"	50.000						P.P.= 43.00
1 1/2"	38.100						% W = 8.83
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 35.10
1/2"	12.500						L.P.= 19.90
3/8"	9.500						I.P.= 15.20
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	3.50	0.58	0.58	99.42		D10= 0.086 Cu= 2.92
No8	2.360						D30= 0.150 Cc= 1.05
No10	2.000	17.10	2.85	3.43	96.57		D60= 0.25
No16	1.180						CLASIFICACIÓN:
No20	0.850	47.90	7.97	11.40	88.60		I.G. = :
No30	0.600						SUCS : CH
No40	0.425	50.80	8.46	19.86	80.14		ASSTHO : A-7
No 50	0.300						OBSERVACIONES:
No60	0.250						
No80	0.180	189.50	31.55	47.98	52.02		
No100	0.150	127.30	21.19	72.60	27.40		
No200	0.075	121.60	20.24	92.84	7.16		
BASE		43.00	7.16	100.00	0.00		
TOTAL		600.70	100.00				
% PERDIDA			7.16				



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



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

B.N.: B006-00296174



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



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

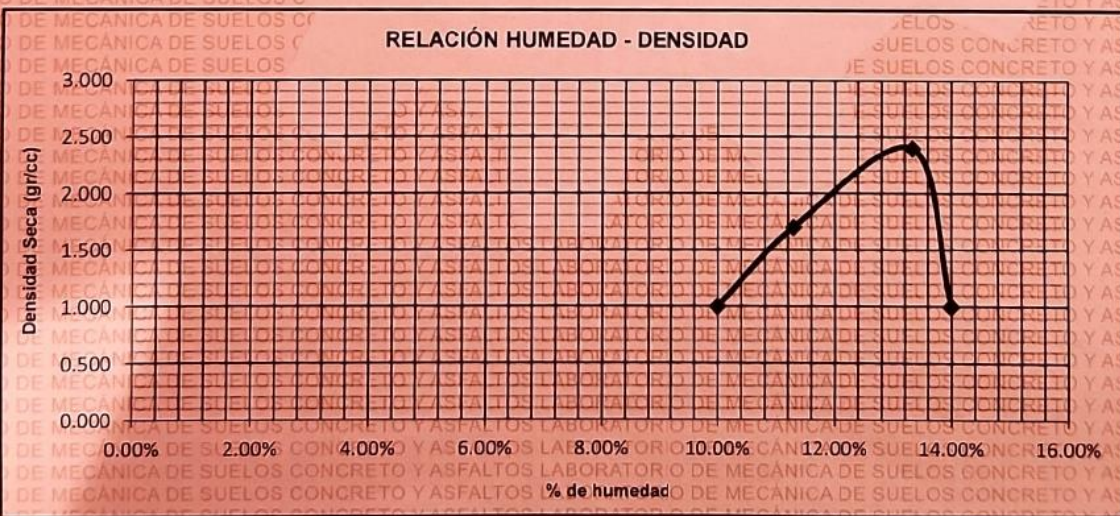
TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO
SOLICITANTE	: Bach. WILSON DAVID CHOQUE GONZALO
UBICACIÓN	: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UANCV
MUESTRA	: C - 1
PROFUNDIDAD	: 1.50 m
FECHA	: 25 DE ABRIL DEL 2024

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

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	5297	5401	5523	5479
Peso del Molde	gr.	3618	3618	3618	3618
Peso del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	1679	1783	1905	1861
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	1.795	1.906	2.036	1.989

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	55.78	47.88	53.39	43.29	39.46	55.85	50.38	51.25
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	52.85	45.28	50.27	41.18	37.45	53.31	46.48	47.31
Peso del Agua	gr.	2.93	2.60	3.12	2.11	2.01	2.54	3.90	3.94
Peso de la Capsula	gr.	20.93	17.63	21.58	21.88	20.57	31.62	20.50	20.55
Peso del Suelo Seco	gr.	31.92	27.65	28.69	19.30	16.88	21.69	25.98	26.76
% de Humedad	%	9.18%	9.40%	10.87%	10.93%	11.91%	11.71%	15.01%	14.72%
Promedio de Humedad	%	9.29%		10.90%		11.81%		14.87%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.642		1.719		1.821		1.732	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 2.400 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 13.34%



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

B.N.: B006-00296174



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



## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

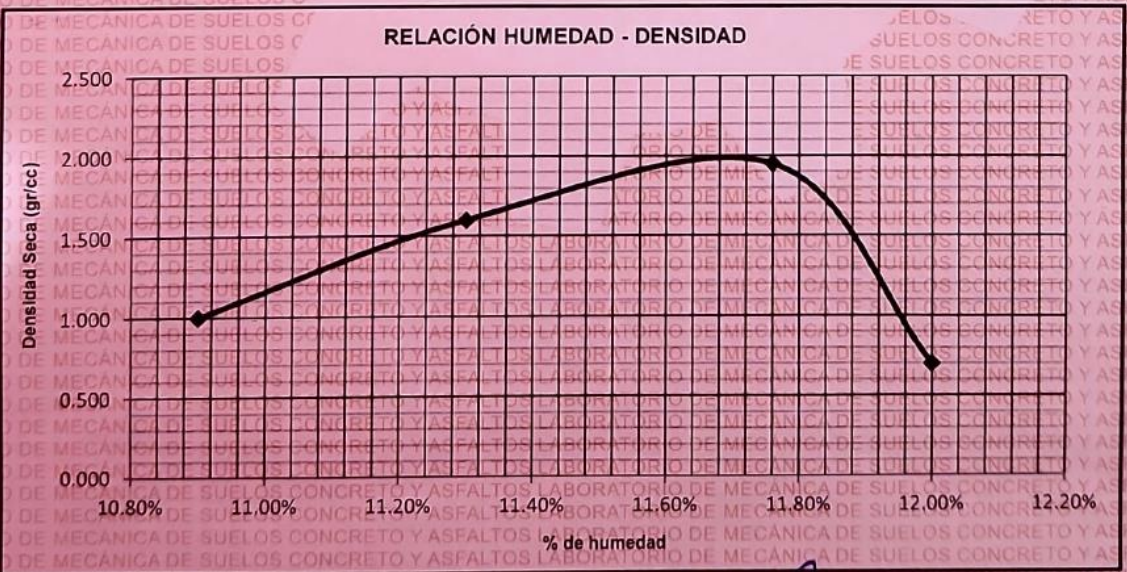
TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO
SOLICITANTE	: Bach. WILSON DAVID CHOQUE GONZALO
UBICACIÓN	: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UANCV
MUESTRA	: C - 2
PROFUNDIDAD	: 1.50 m
FECHA	: 25 DE ABRIL DEL 2024

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 935 cm <sup>3</sup>
No de CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5344	5456	5552	5473
Peso del Molde	gr.	3618	3618	3618	3618
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1726	1838	1934	1855
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.845	1.965	2.067	1.983

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	255.51	226.88	255.51	226.88	278.42	315.26	285.61	245.92
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	237.00	210.15	235.23	209.12	252.50	280.95	255.02	220.42
Peso del Agua	gr.	18.51	16.73	20.28	17.76	25.92	34.31	30.59	25.50
Peso de la Capsula	gr.	40.87	39.78	40.86	39.78	38.12	38.27	37.56	38.78
Peso del Suelo Seco	gr.	196.13	170.37	194.37	169.34	214.38	242.68	217.46	181.64
% de Humedad	%	9.44%	9.82%	10.43%	10.49%	12.09%	14.14%	14.07%	14.04%
Promedio de Humedad	%	9.63%		10.46%		13.11%		14.05%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.683		1.779		1.828		1.739	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.950 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 11.76%



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

B.N.: B006-00296174



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



## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

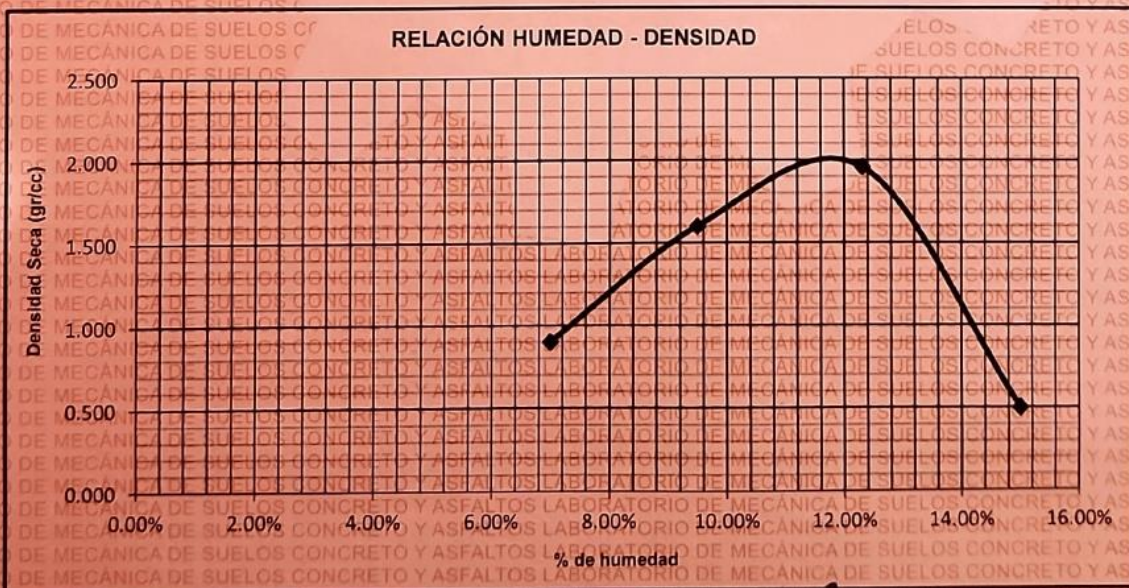
TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO
SOLICITANTE	: Bach. WILSON DAVID CHOQUE GONZALO
UBICACIÓN	: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UANCV
MUESTRA	: C - 3
PROFUNDIDAD	: 1.50 m
FECHA	: 25 DE ABRIL DEL 2024

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

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5344	5456	5552	5473
Peso del Molde	gr.	3618	3618	3618	3618
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	1726	1838	1934	1855
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	1.845	1.965	2.067	1.983

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	255.51	226.88	255.51	226.88	278.42	315.26	285.61	245.92
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	237.00	210.15	235.23	209.12	252.50	280.95	255.02	220.42
Peso del Agua	gr.	18.51	16.73	20.28	17.76	25.92	34.31	30.59	25.50
Peso de la Capsula	gr.	40.87	39.78	40.86	39.78	38.12	38.27	37.95	38.78
Peso del Suelo Seco	gr.	196.13	170.37	194.37	169.34	214.38	242.68	217.46	181.64
% de Humedad	%	9.44%	9.82%	10.43%	10.49%	12.09%	14.14%	14.07%	14.04%
Promedio de Humedad	%	9.63%		10.46%		13.11%		14.05%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.683		1.779		1.828		1.739	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.960 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 12.31%



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

LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA

Matr. Arnoldo Yana Torres

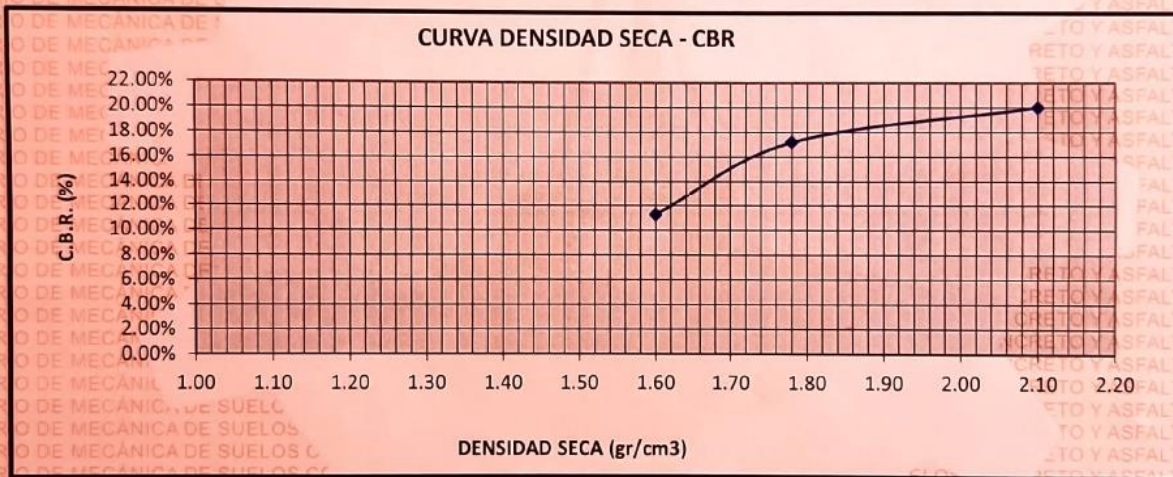
B.N.: B006-00296174



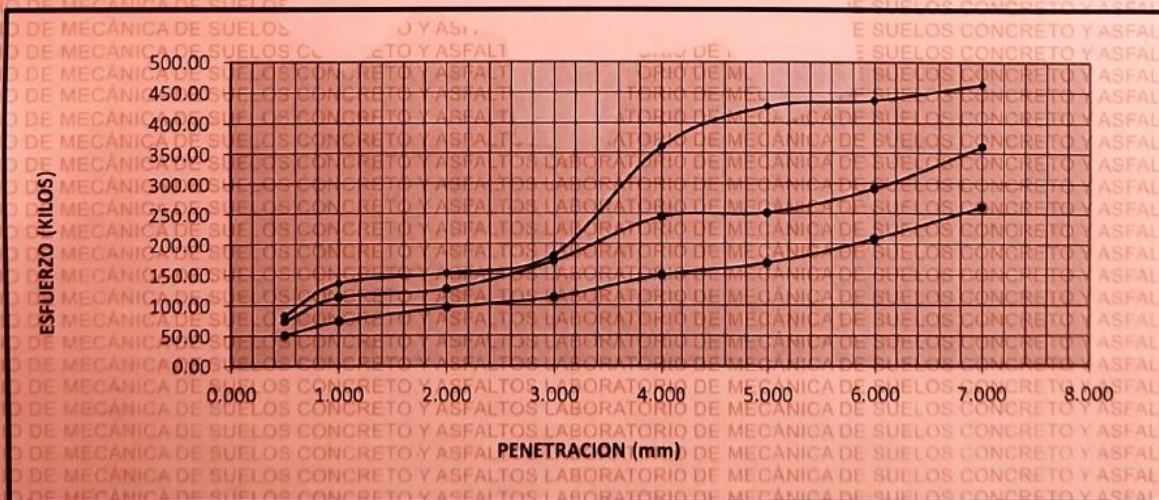
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



<b>PROYECTO :</b>	INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO	<b>CBR</b>	
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. WILSON DAVID CHOQUE GONZALO	Máxima densidad seca (kg/ccm <sup>3</sup> )	<b>1.78</b>
<b>UBICACIÓN :</b>	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UANCV	Contenido de humedad (%)	<b>11.80</b>
<b>MUESTRA :</b>	C-1, C-2 Y C-3	Máxima densidad seca al 95% (kg/cm <sup>3</sup> )	<b>1.7%</b>
<b>PROFUNDIDAD :</b>	1.50 M	Valor relativo de soporte al 100% a 2"	<b>19.5</b>
<b>FECHA :</b>	25 DE ABRIL DEL 2024		



CBR de la mezcla de Grava y Arcilla



Mery Arnaldo Yana Torres  
 M.S.C.A. JEFATURA  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

B.N.: B006-00296174



ANEXO I  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 15/08/2024

I. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: WILSON DAVID CHOQUE GONZALO

Dirección: CP CHACA CHACA

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 77 9117 74

Teléfono: 94905 89 14 email: wilson.18752@gmail.com

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

Dirección: \_\_\_\_\_

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

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

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

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: \_\_\_\_\_

Asesor: Mgtr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA EN EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE PUNO

Palabras claves, (3 a 5 términos): ESTABILIDAD, CARRETERAS, GRAVA, ARCILLA y SUBRASANTE

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

1

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

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



2. Referencia de tesis:

Bachiller  Título  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

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

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

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

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

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

Sí autorizo  
 No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

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

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

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

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN P-17

Firma de Autor



huella digital

15 DE AGOSTO DEL 2024

Fecha