



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL  
MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE  
DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN  
VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ**

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

**JULIACA - PERÚ**

**2025**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL  
MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE  
DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN  
VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**

**PRESIDENTE**

:   
Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

**PRIMER MIEMBRO**

:   
Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

**SEGUNDO MIEMBRO**

:   
Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

**ASESOR DE TESIS**

:   
Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



**UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 257-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 07 de mayo del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025- CU- 1507 presentado por el (la) Bachiller: **RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ** 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. **RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

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

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

**RESUELVE:**

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

- \* **Presidente** : Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
- \* **1er Miembro** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
- \* **2do Miembro** : Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

**ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR**.

**ARTICULO TERCERO.- APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : jueves 15 de mayo del 2025
- \* **HORA** : 08:00 horas
- \* **LUGAR** : Aula 306 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA  
DECANO (e)  
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Dr. Pritz Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo



RESOLUCIÓN DECANAL N° 111-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 10 de enero del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 0377 por el señor (a): RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ quien solicita REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis), el PROVEIDO – N° 060- 2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS) formato N° 375 - 2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Dr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 375 - 2024 aprobando el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA, Correspondiente a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS), para la REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN, presentado por el señor (a): RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA correspondiente a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como ASESOR DE INVESTIGACIÓN al (a) la), Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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

Dr. MILTHON QUISEP HUANCA DECANO CIP. 47790



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

Dr. Eirato Harilla Sosa DIRECTOR UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc. Archivo interesado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1077-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 20 de setiembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU- 010781, presentado el señor (a) RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 920 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 293-2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ ha presentado su propuesta de investigación Titulado: INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Dr. 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° 293-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN, presentado por el señor (a): RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA correspondiente a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.

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

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como ASESOR DE INVESTIGACIÓN de al (a la) docente Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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

Dr. MILTHON QUISEP HUANCA DECANO CIP. 47790



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

Dr. Efraín Parillo Sosa DIRECTOR UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc. Archivo 2024 Interesado (a)



# 12% Similitud general

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

## Filtrado desde el informe

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

## Fuentes principales

- 7% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 11% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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



**METADATOS COMPLEMENTARIOS**

<b>Título de la tesis</b>	
<b>INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA</b>	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	77298685
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0003-0180-3665">https://orcid.org/0009-0003-0180-3665</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02441152
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-0824-8049">https://orcid.org/0000-0002-0824-8049</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02442876
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	WILFREDO DAVID SUPO PACORI
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02428673



<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca <b>Coordenadas:</b>  Latitud: -15.4932314 Longitud: -70.1356177 <a href="https://maps.app.goo.gl/Wt76GwAFMewS79vT7">https://maps.app.goo.gl/Wt76GwAFMewS79vT7</a>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Febrero 2025 – mayo 2025
URL de disciplinas OCDE	<b>Ingeniería civil</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00</a> <b>Ingeniería de la construcción</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</a>



UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CERVENZA VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ, identificado con DNI Nro. 77298685 en mi condición de egresado de:

- [X] Escuela Profesional
[ ] Programa de Segunda Especialidad,
[ ] Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

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

INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

Asesorado por: Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

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 21 de JULIO del 2025

[Handwritten signature of the advisor]

Firma del Asesor (obligatoria)

[Handwritten signature of the student]

FIRMA (obligatoria)



Huella



## DEDICATORIA

Este estudio se dedica, con profundo afecto y agradecimiento, a mis progenitores, Saray Ana Velásquez Pacho y José Janampa Cruz, quienes con esfuerzo, sacrificio y amor incondicional me han guiado a lo largo de mi vida. Agradezco su confianza en mí aún en las circunstancias más adversas, por enseñarme el valor del trabajo honesto y por impulsarme siempre a seguir adelante, aun cuando el camino no fue fácil.

Su ejemplo, su entrega diaria y sus palabras de aliento han sido mi mayor motivación para no rendirme y alcanzar esta meta. Esta tesis es fruto del camino que recorrimos juntos, y cada página lleva impresa una parte del amor, la paciencia y el compromiso que siempre me brindaron.

También dedico este logro a mis hermanos, Iván Yúnior Janampa Velásquez y Lizeth Ana María Janampa Velásquez, así como a mi pareja, Luz Clarita Pacho Mamani, por acompañarme en cada momento de este proceso. Agradezco su respaldo absoluto, su confianza en mí y su presencia en las distintas etapas de esta travesía.



## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar un agradecimiento muy especial al ingeniero Hugo Carbajal Quispe, por su valiosa guía, compromiso constante y la confianza depositada en mí a lo largo de este proceso. Su disposición, orientación práctica y aportes técnicos. Además, su experiencia profesional y apoyo fueron fundamentales en momentos clave del desarrollo del trabajo. Más allá del aspecto académico, me brindó enseñanzas que marcaron mi formación personal y profesional, haciendo de su acompañamiento un pilar decisivo.

También extendiendo un sincero agradecimiento al ingeniero César Eberth Ibañez Coapaza, por su colaboración, asesoramiento técnico y por compartir generosamente sus conocimientos. Su experiencia y apoyo fueron de gran valor.

De igual manera, extendiendo mi gratitud al Dr. César Guillermo Camargo Najjar, asesor de tesis, por su respaldo y orientación que fueron fundamentales para lograr finalizar con éxito este gran reto.



**ÍNDICE GENERAL**

DEDICATORIA..... iii

AGRADECIMIENTO.....iv

ÍNDICE GENERAL ..... v

ÍNDICE DE TABLAS ..... xiii

ÍNDICE DE FIGURAS .....xv

RESUMEN ..... xvii

ABSTRACT ..... xviii

INTRODUCCIÓN ..... xix

**CAPÍTULO I**

**EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 3

    1.1.1. Problema general ..... 3

    1.1.2. Problemas Específicos..... 3

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN ..... 3

    1.2.1. Justificación técnica..... 3

    1.2.2. Justificación Social ..... 4

    1.2.3. Justificación Ambiental ..... 4

    1.2.4. Justificación ambiental ..... 4

1.3. OBJETIVOS..... 5

    1.3.1. Objetivo general ..... 5

    1.3.2. Objetivos Específicos ..... 5

1.4. HIPÓTESIS..... 5

    1.4.1. Hipótesis general..... 5

    1.4.2. Hipótesis específicas ..... 6

1.5. VARIABLES E INDICADORES..... 6



1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES..... 7

**CAPÍTULO II**

**MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN ..... 8

    2.1.1. Antecedentes Internacionales ..... 8

    2.1.2. Antecedentes Nacionales ..... 9

    2.1.3. Antecedentes Regionales ..... 9

2.2. MARCO TEÓRICO ..... 10

    2.2.1. Incidencia ..... 10

    2.2.2. Cal ..... 10

    2.2.3. Cimentación con Cal ..... 11

    2.2.4. Cemento ..... 12

    2.2.5. Cimentación con Cemento ..... 13

    2.2.6. Optimizaciónmiento de la amplitud de soporte de los terrenos ..... 14

    2.2.7. Subrasante en vías..... 15

    2.2.8. Propiedades del material de la capa de subrasante ..... 15

    2.2.9. Clasificación de terrenos ..... 18

    2.2.10. Sistema de clasificación de terrenos AASHTO ..... 19

2.3. MARCO CONCEPTUAL ..... 21

    2.3.1. Conceptos Fundamentales de Cimentación ..... 21

    2.3.2. Propiedades y Características del Terreno ..... 22

    2.3.3. Propiedades Físicas y Mecánicas ..... 22

    2.3.4. Aspectos Normativos y Técnicos..... 22

**CAPÍTULO III**

**PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN ..... 24



- 3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN ..... 24
- 3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN ..... 24
- 3.4. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN ..... 25
  - 3.4.1. Enfoque cuantitativo ..... 25
  - 3.4.2. Enfoque cuantitativo ..... 25
- 3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA ..... 26
  - 3.5.1. Población..... 26
  - 3.5.2. Muestra ..... 26
- 3.6. TÉCNICAS FUENTES E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN ..... 26
  - 3.6.1. Técnica..... 26
  - 3.6.2. Instrumento ..... 26
  - 3.6.3. Enfoque ..... 27
- 3.7. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO ..... 27
  - 3.7.1. Validez..... 27
  - 3.7.2. Confiabilidad..... 28
- 3.8. PROCEDIMIENTO ..... 29
  - 3.8.1. Reconocimiento del área de estudio ..... 29
  - 3.8.2. Representación gráfica del perfil estratigráfico..... 30
  - 3.8.3. Extracción de muestras del terreno ..... 35
  - 3.8.4. Ensayos en laboratorio..... 37

**CAPÍTULO IV**

**RESULTADOS Y ANÁLISIS**

- 4.1. RESULTADOS – CALICATA N° 01 ..... 44
  - 4.1.1. Análisis Granulométrico por tamizado de subrasante ..... 44
  - 4.1.2. Análisis Granulométrico por tamizado de subrasante ..... 45



- 4.1.3. Análisis de la Curva Granulométrica por tamizado de subrasante  
Terreno Natural ..... 46
- 4.1.4. Análisis Granulométrico del Terreno Natural – Distribución de  
Tamaños de Partícula ..... 47
- 4.1.5. Límites de Atterberg C – 1 Terreno Natural..... 48
- 4.1.6. Clasificación del Terreno Natural:..... 48
- 4.1.7. Proctor Modificado – Relación Humedad–Densidad del Terreno Natural C-1... 49
- 4.1.8. Límites de Atterberg y Clasificación – C-1 con Adición de 2% 4% y 6% de Cal 50
- 4.1.9. Clasificación del Terreno – Calicata Nº 01 Con % de Cal ..... 52
- 4.1.10. Densidad seca máxima con 2% de Cal Calicata Nº 01 ..... 52
- 4.1.11. Análisis del Proctor Modificado con adición de 2% de Cal ..... 53
- 4.1.12. Densidad seca máxima con 4% de Cal - Calicata Nº 01 ..... 54
- 4.1.13. Análisis del Proctor Modificado con adición de 4% de Cal ..... 55
- 4.1.14. Densidad seca máxima con 6% de Cal - Calicata Nº 01 ..... 56
- 4.1.15. Análisis del Proctor Modificado con adición de 6% de Cal ..... 57
- 4.1.16. Proctor Modificado con Porcentajes de 2%, 4%, 6% de Cal ..... 57
- 4.1.17. Proctor Modificado con Porcentajes de 2%, 4%, 6% de Cal ..... 58
- 4.1.18. Cuadro Comparativo – Ensayo Proctor Modificado con Adición de 2%,  
4%, 6% de Cal..... 59
- 4.1.19. Análisis Comparativo – Ensayo Proctor Modificado con Adición de 2%,  
4%, 6% de Cal..... 59
- 4.1.20. CBR al 95% MDS (%) y CBR al 100% MDS (%) con Adición de 2%  
4% y 6% de Cal – C-1 ..... 60
- 4.1.21. Análisis Del CBR al 95% MDS (%) y CBR al 100% MDS (%) con 2%,  
4%, 6% de Cal – C-1 ..... 61



4.1.22. Límites de Atterberg y Clasificación – C-1 con Adición de 3%, 5% y 7% de Cemento..... 62

4.1.23. Análisis de Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad con Adición de 2% 4% y 6% de Cemento – C-1 ..... 65

4.1.24. Clasificación del Terreno – Calicata N° 01 Con % de Cemento ..... 66

4.1.25. Densidad seca máxima con Adición de 3% de Cemento - Calicata N° 01 .. 66

4.1.26. Análisis del Proctor Modificado con adición de 3% de Cemento ..... 67

4.1.27. Densidad seca máxima con Adición de 5% de Cemento - Calicata N° 01 .. 68

4.1.28. Análisis del Proctor Modificado con adición de 5% de Cemento ..... 69

4.1.29. Densidad seca máxima con Adición de 7% de Cemento - Calicata N° 01 .. 69

4.1.30. Análisis del Proctor Modificado con adición de 7% de Cemento ..... 70

4.1.31. Proctor Modificado con Porcentajes de 3%, 5% y 7% de Cemento 71

4.1.32. Análisis de Proctor Modificado con Porcentajes de Cemento ..... 72

4.1.33. Análisis de las curvas del Proctor Modificado con Porcentajes de 3%, 5%, y 7% de Cemento..... 73

4.1.34. Cuadro Comparativo – Ensayo Proctor Modificado con Adición de 2%, 4%, 6% de Cemento..... 74

4.1.35. Análisis Comparativo – Ensayo Proctor Modificado con Adición de 2%, 4%, 6% de Cal..... 74

4.1.36. CBR al 95% MDS (%) y CBR al 100% MDS (%) con Adición de 3%, 5% y 7% de Cemento – C-1 ..... 75

4.1.37. Análisis Del CBR al 95% MDS (%) y CBR al 100% MDS (%) con 3%, 5% y 7% – C-1..... 75

4.2. RESULTADOS – CALICATA N° 02 ..... 76

4.2.1. Análisis Granulométrico por tamizado de subrasante ..... 76

4.2.2. Análisis Granulométrico por tamizado de subrasante ..... 77



4.2.3. Análisis de la Curva Granulométrica por tamizado de subrasante Terreno Natural .....	78
4.2.4. Análisis Granulométrico del Terreno Natural – Distribución de Tamaños de Partícula .....	78
4.2.5. Límites de Atterberg C – 2 Terreno Natural.....	79
4.2.6. Clasificación del Terreno Natural.....	80
4.2.7. Proctor Modificado – Relación Humedad–Densidad del Terreno Natural C-2... 81	
4.2.8. Análisis del Proctor Modificado – Relación Humedad–Densidad del Terreno Natural C-2.....	81
4.2.9. Límites de Atterberg y Clasificación – C-2 con Adición de 2% 4% y 6% de Cal 83	
4.2.10. Clasificación del Terreno – Calicata N° 02 Con % de Cal .....	84
4.2.11. Densidad seca máxima con Adición de 2% de Cal - Calicata N° 02 85	
4.2.12. Análisis del Proctor Modificado con adición de 2% de Cal .....	86
4.2.13. Densidad seca máxima con 4% de Cal - Calicata N° 02 .....	87
4.2.14. Análisis del Proctor Modificado con adición de 4% de Cal .....	88
4.2.15. Densidad seca máxima con 6% de Cal - Calicata N° 02 .....	88
4.2.16. Análisis del Proctor Modificado con adición de 6% de Cal .....	89
4.2.17. Proctor Modificado con Porcentajes de 2%, 4%, 6% de Cal .....	90
4.2.18. Análisis de Proctor Modificado con 2%, 4% y 6% de Cal .....	90
4.2.19. Análisis de la Curva del Proctor Modificado con Porcentajes de Cal ....	91
4.2.20. Cuadro Comparativo – Ensayo Proctor Modificado con Adición de 2%, 4%, 6% de Cal.....	93
4.2.21. Análisis Comparativo – Ensayo Proctor Modificado con Adición de 2%, 4%, 6% de Cal.....	93
4.2.22. CBR al 95% MDS (%) y CBR al 100% MDS (%) con Adición de 2% 4% y 6% de Cal – C-2 .....	94



4.2.23. Análisis Del CBR al 95% MDS (%) y CBR al 100% MDS (%) con 2%, 4%, 6% de Cal – C-2.....	94
4.2.24. Límites de Atterberg y Clasificación con 3%, 5% y 7% de Cemento	96
4.2.25. Análisis de Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad con Adición de 2% 4% y 6% de Cemento – C-2.....	97
4.2.26. Clasificación del Terreno – Calicata N° 02 Con % de Cemento .....	98
4.2.27. Densidad seca máxima con Adición de 3% de Cemento - Calicata N° 02..	99
4.2.28. Análisis del Proctor Modificado con adición de 3% de Cemento...	100
4.2.29. Densidad seca máxima con Adición de 5% de Cemento - Calicata N° 02	100
4.2.30. Densidad seca máxima con Adición de 7% de Cemento - Calicata N° 02	103
4.2.31. Análisis del Proctor Modificado con adición de 7% de Cemento...	104
4.2.32. Proctor Modificado con Porcentajes de 3%, 5%, 7% de Cemento – C-2..	105
4.2.33. Análisis de Proctor Modificado con Porcentajes de 3%, 5% y 7% de cemento.....	106
4.2.34. Análisis de la Curva del Proctor Modificado con Porcentajes de 3%, 5% y 7% de Cemento.....	107
4.2.35. Cuadro Comparativo – Ensayo Proctor Modificado con Adición de 3%, 5%, 7% de Cemento.....	109
4.2.36. Análisis Comparativo – Ensayo Proctor Modificado con Adición de 3%, 5% y 7% de Cemento.....	109
4.2.37. CBR al 95% MDS (%) y CBR al 100% MDS (%) con Adición de 3%, 5% y 7% de Cemento.....	110
4.2.38. Análisis Del CBR al 95% MDS (%) y CBR al 100% MDS (%) con 3%, 5% y 7% de Cemento.....	110
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	111
4.3.1. Discusión internacional.....	111



4.3.2. Discusión y resultados de la presente investigación .....	112
4.3.3. Discusión internacional.....	112
4.3.4. Discusión y resultados de la presente investigación .....	113
CONCLUSIONES.....	114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	118
ANEXOS .....	120



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....	7
<b>Tabla 2</b> Tamaño de los Granos – Granulometría.....	16
<b>Tabla 3</b> Sistema Unificado de Clasificación de Terrenos (SUCS).....	19
<b>Tabla 4</b> Clasificación AASHTO .....	20
<b>Tabla 5</b> Perfil estratigráfico del terreno .....	32
<b>Tabla 6</b> Perfil estratigráfico del terreno natural (profundidad 1.70m) .....	33
<b>Tabla 7</b> Análisis Granulométrico - Tamizado de Subrasante C-1 .....	45
<b>Tabla 8</b> Límites de consistencia del terreno natural.....	48
<b>Tabla 9</b> Proctor modificado - terreno natural C-1 .....	49
<b>Tabla 10</b> Límites de Atterberg con adición de 2%, 4% y 6% de Cal C-1 .....	52
<b>Tabla 11</b> Proctor Modificado con adición de 2% de Cal C-1 .....	52
<b>Tabla 12</b> Proctor Modificado con adición de 4% de Cal C-1.....	54
<b>Tabla 13</b> Proctor Modificado con Adición de 6% de Cal C-1 .....	56
<b>Tabla 14</b> Proctor modificado con adición de 2%, 4% y 6% de Cal C-1 .....	57
<b>Tabla 15</b> Cuadro comparativo de Proctor modificado con % de Cal C-1 .....	59
<b>Tabla 16</b> CBR al 95% y 100% MDS con 2%, 4% y 6% de Cal C-1.....	60
<b>Tabla 17</b> Límites de Atterberg con 3%, 5% y 7% de Cemento C-1.....	65
<b>Tabla 18</b> Proctor modificado con adición de 3% de Cemento C-1.....	66
<b>Tabla 19</b> Proctor modificado con adición de 5% de Cemento C-1.....	68
<b>Tabla 20</b> Proctor modificado con adición de 7% de Cemento C-1.....	69
<b>Tabla 21</b> Proctor modificado con 3%, 5% y 7% de Cemento C-1 .....	71
<b>Tabla 22</b> Comparativo de Proctor Modificado con % de Cemento C-1.....	74
<b>Tabla 23</b> CBR al 95% y 100% MDS con 3%, 5% y 7% de Cemento C-1 .....	75
<b>Tabla 24</b> Análisis Granulométrico - Tamizado de Subrasante C-2 .....	76
<b>Tabla 25</b> Límites de consistencia del terreno natural C-2 .....	80



<b>Tabla 26</b> Proctor modificado - terreno natural C-2 .....	81
<b>Tabla 27</b> Límites de Atterberg con adición de 2%, 4% y 6% de Cal C-2 .....	84
<b>Tabla 28</b> Proctor Modificado con adición de 2% de Cal C-2.....	85
<b>Tabla 29</b> Proctor Modificado con adición de 4% de Cal C-2.....	87
<b>Tabla 30</b> Proctor Modificado con adición de 6% de Cal C-2.....	88
<b>Tabla 31</b> Proctor modificado con adición de 2%, 4% y 6% de Cal C-2.....	90
<b>Tabla 32</b> Cuadro comparativo de Proctor modificado con % de Cal C-2 .....	93
<b>Tabla 33</b> CBR al 95% y 100% MDS con 2%, 4% y 6% de Cal C-2.....	94
<b>Tabla 34</b> Límites de Atterberg con 3%, 5% y 7% de Cemento C-2.....	97
<b>Tabla 35</b> Proctor modificado con adición de 3% de Cemento C-2.....	99
<b>Tabla 36</b> Proctor modificado con adición de 5% de Cemento C-2.....	101
<b>Tabla 37</b> Proctor modificado con adición de 7% de Cemento C-2.....	103
<b>Tabla 38</b> Proctor modificado con 3%, 5% y 7% de Cemento C-2.....	105
<b>Tabla 39</b> Comparativo de Proctor modificado con % de Cemento C-2.....	109
<b>Tabla 40</b> CBR al 95% y 100% MDS con 3%, 5% y 7% de Cemento C-2 .....	110



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Cimentación de terreno con Cal .....	12
<b>Figura 2</b> Cimentación de terreno con Cemento .....	14
<b>Figura 3</b> Curva Granulométrica .....	17
<b>Figura 4</b> Ubicación georreferenciada del área de estudio .....	29
<b>Figura 5</b> Muestra de la profundidad de cada capa. ....	31
<b>Figura 7</b> Extracción de muestras del terreno – Calicata N° 01 .....	36
<b>Figura 8</b> Extracción de muestras del terreno – Calicata N° 02 .....	36
<b>Figura 9</b> Ensayo granulométrico por tamizado – Calicata N° 01 .....	37
<b>Figura 10</b> Ensayo granulométrico por tamizado – Calicata N° 02 .....	38
<b>Figura 11</b> Ensayo de Límites de Atterberg – Calicata N° 01.....	39
<b>Figura 12</b> Ensayo de Límites de Atterberg – Calicata N° 02.....	39
<b>Figura 13</b> Ensayo de Proctor Modificado – Calicata N° 01 .....	41
<b>Figura 14</b> Ensayo de Proctor Modificado – Calicata N° 02.....	41
<b>Figura 15</b> Ensayo de CBR – Calicata N° 01 .....	42
<b>Figura 16</b> Ensayo de CBR – Calicata N° 02 .....	43
<b>Figura 17</b> Curva granulométrica del terreno natural del terreno natural C-1 ...	46
<b>Figura 18</b> Relación Humedad – Densidad Seca del terreno natural C-1 .....	50
<b>Figura 19</b> Relación Humedad – Densidad Seca con 2% de Cal C-1 .....	53
<b>Figura 20</b> Relación Humedad – Densidad Seca con 4% de Cal C-1 .....	54
<b>Figura 21</b> Relación Humedad – Densidad Seca con 6% de Cal C-1 .....	56
<b>Figura 22</b> Densidad Seca y Contenido de Humedad con % de Cal C-1.....	58
<b>Figura 23</b> Relación Humedad – Densidad Seca con 3% de Cemento C-1.....	67
<b>Figura 24</b> Relación Humedad – Densidad Seca con 5% de Cemento C-1.....	68
<b>Figura 25</b> Relación Humedad – Densidad Seca con 7% de Cemento C-1.....	70



<b>Figura 26</b>	Densidad Seca y Humedad Optima con % de Cemento C-1 .....	73
<b>Figura 27</b>	Curva Granulométrica del Terreno Natural C-2.....	77
<b>Figura 28</b>	Relación Humedad – Densidad Seca del Terreno Natural C-2 .....	82
<b>Figura 29</b>	Relación Humedad – Densidad Seca con 2% de Cal C-2.....	86
<b>Figura 30</b>	Relación Humedad – Densidad Seca con 4% de Cal C-2.....	87
<b>Figura 31</b>	Relación Humedad – Densidad Seca con 6% de Cal C-2.....	89
<b>Figura 32</b>	Densidad Seca – Contenido de Humedad con % de Cal C-2 .....	91
<b>Figura 33</b>	Relación Humedad – Densidad Seca con 3% de Cemento C-2.....	99
<b>Figura 34</b>	Relación Humedad – Densidad Seca con 5% de Cemento C-2....	101
<b>Figura 35</b>	Relación Humedad – Densidad Seca con 7% de Cemento C-2....	103
<b>Figura 36</b>	Densidad Seca y Humedad Optima con % de Cemento C-2 .....	107
<b>Figura 37</b>	Trazo de la calicata C – 1 .....	123
<b>Figura 38</b>	Perfil estratigráfico C – 1 .....	123
<b>Figura 39</b>	Extracción de muestra C – 1 .....	124
<b>Figura 40</b>	Ensayo de análisis granulométrico por tamizado C – 1.....	124
<b>Figura 41</b>	Ensayo de Límites de Atterberg C – 1 .....	125
<b>Figura 42</b>	Ensayo Proctor Modificado C – 1 .....	125
<b>Figura 43</b>	Ensayo de CBR C – 1 .....	126
<b>Figura 44</b>	Trazo de la calicata C – 2.....	126
<b>Figura 45</b>	Perfil estratigráfico C – 2 .....	127
<b>Figura 46</b>	Extracción de muestra C – 2 .....	127
<b>Figura 47</b>	Ensayo de análisis granulométrico por tamizado C – 2.....	128
<b>Figura 48</b>	Ensayo de Límites de Atterberg C – 2.....	128
<b>Figura 49</b>	Ensayo Proctor Modificado C – 2 .....	129
<b>Figura 50</b>	Ensayo de CBR C – 2 .....	129



## RESUMEN

La presente investigación evaluó la influencia de la adición de diferentes porcentajes de cal y cemento en las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante en vías de la ciudad de Juliaca. Se adoptó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, con diseño cuasi experimental y nivel explicativo. Mediante ensayos de laboratorio, se caracterizó el terreno natural (ML) y se evaluaron los efectos de añadir cal (2%, 4% y 6%) y cemento (3%, 5% y 7%). Las pruebas incluyeron el ensayo Proctor modificado, análisis granulométrico, establecimiento de los límites de Atterberg y del índice CBR, aplicando procedimientos estandarizados con equipos calibrados. Los hallazgos determinaron que tanto la cal como el cemento favoreciendo de forma relevante la amplitud de soporte y estabilidad del terreno. En la calicata N.º 01, el terreno natural presentó un CBR de 7.9% y un índice de plasticidad de 13.1%; la adición de 6% de cal redujo la plasticidad a 7% e incrementó el CBR a 12.4%, mientras que con 7% de cemento, la plasticidad fue de 6.8% y el CBR alcanzó 13.1%. En la calicata N.º 02, el CBR inicial fue de 8.4% y la plasticidad de 13.4%; con 6% de cal, la plasticidad disminuyó a 7.3% y el CBR subió a 12.9%; con 7% de cemento, la plasticidad fue de 7.2% y el CBR se elevó a 13.3%. Se concluye que ambos estabilizantes beneficiando el comportamiento del terreno: la cal resulta más efectiva en la reducción de la plasticidad, mientras que el cemento presenta un mejor desempeño en el incremento del CBR. Estos hallazgos constituyen una base técnica útil para futuros proyectos de optimización vial en la ciudad de Juliaca.

**Palabras clave:** cimentación de terrenos, cal, cemento, CBR, subrasante, amplitud de soporte.



## ABSTRACT

The present investigation evaluated the influence of the addition of different percentages of lime and cement on the physical and mechanical properties of the subgrade in roads of the city of Juliaca. A quantitative, applied-type approach was adopted, with quasi-experimental design and explanatory level. Through laboratory tests, the natural soil (ML) was characterized and the effects of adding lime (2%, 4% and 6%) and cement (3%, 5% and 7%) were evaluated. The tests included the modified Proctor assay, granulometric analysis, establishment of the Atterberg limits and the CBR index, applying standardized procedures with calibrated equipment. The findings determined that both lime and cement significantly favoring the amplitude of support and stability of the terrain. In La calicata N° 01, the natural terrain presented a CBR of 7.9% and a plasticity index of 13.1%; the addition of 6% lime reduced the plasticity to 7% and increased the CBR to 12.4%, while with 7% cement, the plasticity was 6.8% and the CBR reached 13.1%. In the calicata N° 02, the initial CBR was 8.4% and the plasticity of 13.4%; with 6% of lime, the plasticity decreased to 7.3% and the CBR rose to 12.9%; with 7% of cement, the plasticity was 7.2% and the CBR rose to 13.3%. It is concluded that both stabilizers benefit the behavior of the soil: lime is more effective in reducing plasticity, while cement has a better performance in increasing CBR. These findings constitute a useful technical basis for future road optimization projects in the city of Juliaca.

**Keywords:** ground foundation, lime, cement, CBR, subgrade, support amplitude.



## INTRODUCCIÓN

El estudio presentado posee como objetivo principal mejorar las características mecánicas y físicas de los terrenos arcillosos mediante la adición de cal y cemento, evaluando su efectividad en el tratamiento de la subrasante de las calles de la ciudad de Juliaca, Puente Las Américas, en su intersección con la Avenida Perú. Se busca establecer cómo la adición de cal incide en propiedades como la plasticidad, la amplitud de soporte y la estabilidad del terreno, con el propósito de sugerir una alternativa técnica factible para optimizar la infraestructura de carreteras de la región.

La correcta evolución y conservación de la red vial se erige como un elemento esencial para el progreso comercial y social de las regiones, en las que las situaciones climatológicas extremas y la existencia de terrenos de reducida amplitud portante obstaculizan la edificación de vías de larga duración, se vuelve imprescindible aplicar técnicas de optimización de terrenos que garanticen una subrasante estable y resistente. Velásquez-Chávez, P. D. (2024) Demostró que el uso de cal y cemento potencia notablemente la aptitud de soporte de terrenos arcillosos, disminuyendo su plasticidad y potenciando su durabilidad.

La investigación se lleva a cabo en un entorno en el cual la infraestructura vial experimenta deterioros persistentes y restricciones especializadas, por lo que los hallazgos derivados pueden aportar al desarrollo de alternativas más eficaces y sostenibles. Además, se anticipa que los descubrimientos servirán como puntos de referencia para próximas iniciativas de pavimentación y rehabilitación vial en áreas con terrenos análogos. Sánchez (2014) demostró que la aplicación de cal y cemento en terrenos expansivos reduce la plasticidad y el potencial expansivo del terreno, optimizando así su estabilidad.



Velásquez-Chávez, P. D. (2024) en su estudio relativo a la consolidación del terreno arcilloso mediante la aplicación de cal y cemento, se examinaron diversas cantidades de dichos componentes y se detectaron optimizaciones notables en la aptitud de soporte del terreno.

La línea de estudio continúa siendo clave producto de la expansión urbana acelerada y los requerimientos en torno a construir vías más resistentes y económicas. La presente investigación busca contribuir a este campo mediante el estudio de la incidencia sobre el empleo de cemento y cal en la optimización de soportes del terreno de la subrasante en las vías de Juliaca, considerando tanto aspectos técnicos como económicos y ambientales.

Esta investigación se organiza de esta forma:

Capítulo I: Contextualización de la problemática, consideraciones relacionadas con la formulación, justificación, propósitos, hipótesis, variables y operacionalización.

Capítulo II: Son mostradas las fundamentaciones teóricas clave, la historia; así como teorías que sustentan esta investigación, y explicaciones de ciertos términos clave.

Capítulo III: Metodología, detalla la naturaleza del estudio y su enfoque, tipo y nivel, el diseño adoptado, aspectos poblacionales y el tamaño muestral a estudiar, instrumento y técnicas empleadas, procesamiento de la data y test de contrastación de hipótesis.

Capítulo IV: Métodos de presentación de datos y los procedimientos para su análisis e interpretación, integra el esquema de resultados de los estudios descriptivos, su análisis, las conclusiones obtenidas, las recomendaciones hechas, las fuentes empleadas; así como anexos añadidos



## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La urbe de Juliaca experimenta considerables restricciones en la edificación y conservación de su infraestructura vial, atribuibles a la existencia de terrenos con propiedades geotécnicas insuficientes. Los terrenos de subrasante que predominan en la zona presentan una alta plasticidad, bajo soporte estructural y elevada sensibilidad al agua, lo que genera fallas recurrentes en las capas superiores de las vías. Estas condiciones provocan asentamientos, grietas, deformaciones permanentes y pérdida de amplitud estructural en las carreteras, especialmente en temporadas de lluvia. En consecuencia, la sociedad experimenta un impacto negativo por el deterioro acelerado de las rutas, mayores tiempos de traslado y costos económicos elevados por mantenimiento constante.

Gran cantidad de estudios han evidenciado que la cimentación de terrenos con materiales como cal y cemento optimización de forma relevante la aptitud respecto al soporte y disminuye de los problemas estructurales. Por ejemplo, Velásquez-Chávez (2024) demostró que la adición de cal y cemento en terrenos arcillosos incrementa de forma importante su durabilidad mecánica y durabilidad.



Asimismo, Jácome y Ortiz (2022) comprobaron que, al estabilizar la subrasante con estos aditivos, el CBR del terreno aumentó en más del 100 %, haciéndolo apto para soportar cargas vehiculares de diseño.

En torno a estabilizar subrasantes en la región de Puno, Perú, se ha abordado en varias investigaciones. Por ejemplo, un estudio examinó estabilizadores de subrasantes a base Cal y Cemento, en dicha región, evidenciando que la introducción de estos componentes contribuyó a la optimización de atributos del ámbito mecánico del terreno, incrementando los índices de soporte CBR; así como una disminución en la humedad adecuada. Otro estudio centrado en estabilizadores de la subrasante en terrenos con características arcillosas, mediante el uso de Cal y Cemento, evidenció disminuciones en la plasticidad e incrementos respecto a la densidad seca al agregar Cal y Cemento. Estos estudios demuestran que la cimentación de subrasantes dentro de la región de Puno se ha abordado mediante el uso de diferentes materiales, con resultados positivos que contribuyan a los atributos de terrenos (Carlos, 2021)

El uso de aditivos como la cal y el cemento es uno de los métodos de cimentación más habituales, los cuales han probado su eficacia para incrementar la durabilidad y disminuir la plasticidad de los terrenos arcillosos (Bell, 1996). La cal opera primordialmente a través de mecanismos de alteración y consolidación química, lo que resulta en una disminución de la plasticidad y un incremento en la durabilidad a largo plazo.

Sin embargo, a pesar de la existencia de diversos estudios a nivel internacional y nacional sobre cimentación de terrenos, en el contexto local de Juliaca se evidencia una limitada aplicación sistemática de estas técnicas, y una escasa evaluación científica acerca de su influencia particular en la optimización



de la aptitud de respaldo de la subrasante. Esta circunstancia provoca una carencia de saber y una posibilidad de investigación.

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1.1. Problema general

¿De qué manera influye la adición de diferentes porcentajes de cal y cemento sobre las propiedades mecánicas y físicas de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca?

### 1.1.2. Problemas Específicos.

**PE<sub>1</sub>** ¿Cuáles son las propiedades mecánicas y físicas de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca?

**PE<sub>2</sub>** ¿Cuál es el efecto de la adición de porcentajes cal y cemento en proporciones variables sobre el índice de plasticidad del material de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca?

**PE<sub>3</sub>** ¿Cuál es el efecto de la adición de cal y cemento en proporciones variables en el grado de compactación del material de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca?

**PE<sub>4</sub>** ¿Cuál es el efecto de la adición de cal y cemento en proporciones variables en el CBR del material de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.2.1. Justificación técnica

La investigación ayuda a perfeccionar tecnologías innovadoras de cimentación de terrenos, mejorando la conformación de carreteras. Además, apoya a los procesos de mezclas y/o combinaciones de componentes de terreno convencional con cal y cemento; a partir del cual se permiten generar saberes



del ámbito científicos novedades en torno a como optimizar recursos respecto a componentes de terrenos de subrasante.

### **1.2.2. Justificación Social**

Este estudio contribuye a la optimización de la calidad de vida en la sociedad, en apoyo del empleo sostenible y ecológico respecto a la cal y cemento en torno al terreno de subrasantes sobre los accesos poblacionales y ámbitos viales en Juliaca, así mismo el fomento de acciones para reciclar; así como de alguna manera ayudar a los aspectos económicos sociales; también se añade a lo anterior la utilización de dichos recursos en torno al mejoramiento y/o conformaciones de vías para la población.

### **1.2.3. Justificación Ambiental**

Esta investigación se sustenta dado el incremento de la contaminación ambiental globalmente, así como también en los ámbitos locales, de forma que reciclar y/o reutilizar se vuelven relevantes y permiten ejecutar la propuesta de estudio, puesto que de esa forma se contribuirá con la disminución de cal y cemento para la utilización de estos sobre los compuestos de terrenos de subrasante que permiten el desarrollo de vías que Juliaca requiere frente a la optimización en las construcciones.

### **1.2.4. Justificación ambiental**

En el ámbito biológico, cálidas y opuestas del adobe al cambiar su ciclo de recolección con aumentos que se encuentran en la naturaleza, lo que lo convierte en una elección específica y hábil, pero además razonable para nuestras condiciones actuales. Estos adobes se fabrican con tierra, el material más abundante del planeta, lo que lo convierte en una recomendación funcional.



## 1.3. OBJETIVOS

### 1.3.1. Objetivo general

Analizar la influencia de la adición de diferentes porcentajes de cal y cemento sobre las propiedades mecánicas y físicas de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

**OE<sub>1</sub>** Determinar las propiedades mecánicas y físicas de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.

**OE<sub>2</sub>** Determinar el efecto de la adición de cal y cemento en proporciones variables en el índice de plasticidad del material de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.

**OE<sub>3</sub>** Determinar el efecto de la adición de cal y cemento en proporciones variables en el grado de compactación del material de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.

**OE<sub>4</sub>** Determinar el efecto de la adición de cal y cemento en proporciones variables en el CBR del material de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.

## 1.4. HIPÓTESIS

### 1.4.1. Hipótesis general

La adición de diferentes porcentajes de cal y cemento en proporciones adecuadas optimización de forma relevante las propiedades mecánicas y físicas incrementando la durabilidad inicial (CBR) mediante el uso de cemento y reduciendo la plasticidad, optimizándolo y estabilizándolo con la adición de cal del terreno en la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.



## 1.4.2. Hipótesis específicas

**HE<sub>1</sub>** El efecto de la adición de cal en proporciones variables de 2%, 4%, 6% y cemento en 3%, 5%, 7% optimización las propiedades mecánicas y físicas del terreno reduciendo el índice de plasticidad, modificando la granulometría, optimizando la densidad seca máxima, el contenido óptimo de humedad y aumentando de forma relevante la durabilidad CBR del terreno en la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.

**HE<sub>2</sub>** El efecto de la adición de cal en proporciones variables de 2%, 4% y 6% y cemento en 3%, 5%, 7%, reduce el índice de plasticidad del material de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.

**HE<sub>3</sub>** El efecto de la adición de cal en proporciones variables de 2%, 4% y 6%, y cemento en 3%, 5% y 7%, optimización el grado de compactación, alcanzando valores del 95% - 100% Proctor modificado del material de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.

**HE<sub>4</sub>** El efecto de la adición de cal en proporciones variables de 2%, 4% y 6% y cemento en 3%, 5% y 7%, incrementa el CBR del material de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.

## 1.5. VARIABLES E INDICADORES

### Variable independiente

- (%) Cal (2%, 4% y 6%)
- (%) Cemento (3%, 5% y 7%)

### Variable dependiente

- Propiedades físicas del terreno estabilizado con cal.
- Propiedades físicas del terreno estabilizado cemento.
- Propiedades mecánicas del terreno estabilizado con cal.



- Propiedades mecánicas del terreno estabilizado cemento.

**1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

Variables	Dimensiones	Indicadores	Escala	Tipo de variable
<b>Variable independiente</b> 1. (%) Cal 2. (%) Cemento	1.1. Dosificación de cal	1.1.1. Porcentaje de cal (%)	Razón	Cuantitativa Continua
	2.1. Dosificación de cemento	2.2.1. Porcentaje de cemento (%)	Razón	Cuantitativa Continua
<b>Variabes dependientes</b>  1. Propiedades físicas del terreno estabilizado con cal (2%, 4%,6 %)  2. Propiedades físicas del terreno estabilizado cemento (3%, 5%, 7%)  3. Propiedades mecánicas del terreno estabilizado con cal (2%, 4% 5%)  4. Propiedades mecánicas del terreno estabilizado cemento (3%, 5%, 7%)	2.1. Propiedades físicas	2.1.1. Granulometría	Razón	Cuantitativa Continua
		2.1.2. Límite líquido (%)	Razón	Cuantitativa Continua
	2.1. Propiedades físicas	2.1.3. Límite plástico (%)	Razón	Cuantitativa Continua
		2.1.4. Índice de plasticidad (%)	Razón	Cuantitativa Continua
	2.1. Propiedades físicas	2.1.5. Clasificación AASHTO)	Razón	Cuantitativa Nominal
		2.1.6. Clasificación SUCS	Razón	Cuantitativa Nominal
	2.2. Propiedades mecánicas	2.2.1. Densidad seca máxima (gr/cm³)	Razón	Cuantitativa Continua
		2.2.2. Óptimo contenido de humedad (%)	Razón	Cuantitativa Continua
2.2. Propiedades mecánicas	2.2.3. CBR al 95% MDS (%)	Razón	Cuantitativa Continua	
	2.2.4. CBR al 100% MDS (%)	Razón	Cuantitativa Continua	

*Nota.* La presente tabla de operacionalización de variables.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

En India, Kumar y Sharma (2019) desarrollaron un estudio comparativo en el cual se utilizaron diferentes combinaciones de cal (2 %, 4 % y 6 %) y cemento (3 %, 5 % y 7 %) para estabilizar terrenos arcillosos de baja incidencia portante. Se evidenció que el uso de 6 % de cal en combinación con 7 % de cemento generó incrementos significativos en el CBR (California Bearing Ratio), con optimizaciones superiores al 600 % respecto al terreno natural. Adicionalmente, se registró un incremento en la máxima densidad seca y una reducción de la cantidad ideal de humedad, lo que señala un mejoramiento global en el rendimiento del terreno tratado.

Por otro lado, en Pakistán, Riaz et al. (2022) estudiaron terrenos finos estabilizados con 2 % - 6 % de cal, y 3 % - 7 % de cemento, evaluando su efecto sobre la durabilidad mecánica y la durabilidad del terreno en circunstancias remojadas. El estudio evidenció que el cemento al 7 % fue más eficiente que la cal, obteniendo un incremento del CBR remojado de entre 200 % y 300 % y una duplicación de la durabilidad sin confinamiento después de 28 días de curado. El desempeño del cemento fue superior, atribuido a su alta amplitud de reacción



y endurecimiento rápido, esta característica es fundamental para la solidez de terrenos en circunstancias de tráfico temprano.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Huampa, G. R. (2024), en su tesis desarrollada en el distrito de Paucarpata (Arequipa), investigó el efecto del uso de cal al 2 %, 4 % y 6 % y cemento al 3 %, 5 % y 7 % en terrenos limosos. Encontró que el cemento al 7 % fue la proporción más efectiva, logrando un incremento del 112,6 % en el CBR, mientras que la cal presentó resultados positivos, pero menores. Este estudio concluye que el cemento, incluso en pequeñas cantidades, presenta una acción más inmediata sobre la durabilidad del terreno, recomendándose su aplicación donde se requiera tráfico temprano.

Fonseca Sánchez (2023), en Cajamarca, empleó 3,2 % de cal con 4,5 % de cemento sobre un terreno limo-arcilloso. El desenlace desembocó en un incremento considerable en el CBR, adquiriendo niveles que superaron el 20%, y una reducción de la humedad óptima. La autora indica que la combinación de ambos aditivos produce un efecto complementario que optimización tanto la durabilidad como la durabilidad de la subrasante, cumpliendo los estándares del MTC.

### **2.1.3. Antecedentes Regionales**

Yana, J. L. (2021). en Ilave, analizó la incidencia de la cal y el cemento sobre terrenos limo-arcillosos de baja durabilidad estructural. Se emplearon porcentajes de 4% y 6% de cal, así como 5% y 7% de cemento. Demostrándose que la cal disminuyó el nivel de plasticidad en un 60% y elevó el CBR hasta 19.5%, mientras que el cemento lo elevó hasta 36.2%. El estudio concluyó que el cemento es más eficiente en durabilidad, mientras que la cal optimización la trabajabilidad y plasticidad.



Ticona, J. E. (2020). La investigación aplicó porcentajes de 2%, 4% y 6% de cal y 3%, 5% y 7% de cemento para optimizaciónr terrenos arcillosos y limosos con alta plasticidad. Se observó que la cal disminuyó el nivel de plasticidad y mejoró la densidad seca, mientras que el cemento aumentó la durabilidad a la compresión y el CBR, alcanzando hasta 39.1%. El estudio recomienda usar cal para optimizaciónr la trabajabilidad y cemento para durabilidad en subrasantes.

Apaza, M. T. (2019). Este estudio evaluó el establecimiento de terrenos arcillosos sometidos a cimentación con diferentes porcentajes de cal (3%, 5%) y cemento (4%, 6%). Evidenciándose que agregar cal redujo la plasticidad y aumentó la densidad seca máxima, mientras que el cemento incrementó de forma relevante la durabilidad mecánica, logrando un CBR máximo de 38.4% con 6% de cemento. La cimentación con cal resultó más económica.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Incidencia**

Cómo influye o afecta el uso de cal y cemento sobre las características mecánicas y físicas del terreno, en especial su amplitud de soporte.

Es decir, busca evaluar cómo la utilización de estos estabilizantes (cal y cemento) modifica u optimiza las propiedades del terreno de subrasante, mejorando su durabilidad, disminuyendo su plasticidad y optimizando su comportamiento ante cargas.

### **2.2.2. Cal**

La cal es un estabilizante químico utilizado para optimizar los caracteres geotécnicos del terreno, principalmente en obras viales, al hacerlo más resistente, menos plástico y más apto para soportar cargas estructurales.



Material de origen mineral con obtención principal, desde la calcinación de rocas calizas (carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ ), y puede presentarse en distintas formas, siendo las más comunes:

- Cal viva (óxido de calcio,  $\text{CaO}$ )
- Cal hidratada (hidróxido de calcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ )

Respecto a la ingeniería geotécnica y de transportes, la cal se emplea como un estabilizador de suelos, particularmente en suelos finos y arcillosos. Su implementación altera de manera positiva las características del suelo a través de reacciones químicas y físicas, entre las que se incluyen:

- Reducción de la plasticidad
- Optimización de la durabilidad a la compresión
- Optimización en la trabajabilidad
- Disminución de la expansividad (hinchamiento)
- Optimización del mecanismo de soporte (CBR)

La cal responde al agua y los minerales encontrados en los terrenos (como arcillas), generando reacciones puzolánicas que producen compuestos cementantes estables. Esto optimiza la estructura del terreno con el tiempo.

### **2.2.3. Cimentación con Cal**

La cal, al mezclarse con los terrenos arcillosos, genera respuestas de forma inmediata de intercambio iónico o floculación.

Según Jimenes, S. J. (2021) La cimentación con cal es particularmente óptima en terrenos arcillosos, reduciendo la plasticidad, aumentando la durabilidad a la compresión y optimiza el mecanismo de soporte mediante reacciones químicas que transforman los minerales del terreno en compuestos cementantes estables.

**Dosificación:**

Porcentajes típicos: 2%, 4% y 6% del peso seco del terreno

Elementos que repercuten sobre la dosificación:

### Tipologías de terreno

- Plasticidad inicial
- Durabilidad requerida

### Figura 1

*Cimentación de terreno con cal*



*Nota.* Cimentación de terreno con cal

#### 2.2.4. Cemento

El cemento se caracteriza como un aglomerante hidráulico, definido como un polvo fino que, al ser combinado con agua, genera una pasta que sólida que se endurece tanto en presencia como en ausencia de aire, preservando su resistencia incluso bajo la presencia de agua.

El cemento más común en la ingeniería civil es el cemento Portland, compuesto principalmente por silicatos de calcio obtenidos desde el acto de quemar piedra caliza y arcilla.



## **Tipos de cemento:**

### **Cemento Tipo I (Portland ordinario)**

Es el más común y se usa en construcciones generales. Ofrece buena durabilidad y es adecuado cuando no se requiere ninguna propiedad especial del cemento.

### **Cemento Tipo II (Moderadamente resistente a los sulfatos)**

Se utiliza cuando el terreno o el agua tienen una presencia moderada de sulfatos. Mientras ocurre el fraguado, produce una menor cantidad de calor, lo que es útil en climas cálidos o en estructuras grandes.

### **Cemento Tipo III (Alta durabilidad inicial)**

Fragua y adquiere durabilidad rápidamente. Es ideal para obras que necesitan ponerse en servicio en poco tiempo, como pavimentos o prefabricados.

### **Cemento Tipo IV (Bajo calor de hidratación)**

Produce poco calor al fraguar, por lo que se usa en estructuras masivas como represas, donde se busca evitar fisuras por calor.

### **Cemento Tipo V (Alta durabilidad a los sulfatos)**

Está diseñado para usarse en medios extremos, donde hay una alta concentración de sulfatos, como en zonas costeras o terrenos salinos.

En cimentación de terrenos, los tipos más utilizados son el Tipo I, por su disponibilidad y eficiencia general, y el Tipo II o puzolánico, cuando se requiere mayor durabilidad química o durabilidad a largo plazo.

#### **2.2.5. Cimentación con Cemento**

Este componente, como agente estabilizador, actúa mediante reacciones de hidratación que forman enlaces entre las partículas del terreno. Según

Habeeb S. (2020), Se ha confirmado que el cemento Portland ordinario resulta un estabilizador químico muy bueno para optimizar los caracteres índices como de durabilidad de los terrenos.

### **Dosificación:**

Rangos típicos: 3%, 5% y 7% del peso seco del terreno

### **Figura 2**

*Cimentación de terreno con cemento*



*Nota.* Técnica que aumenta la durabilidad y rigidez del terreno al mezclarlo con cemento, optimizándolo estructuralmente.

### **2.2.6. Optimización de la amplitud de soporte de los terrenos**

La optimización de la amplitud de soporte de los terrenos se refiere a un conjunto de técnicas implementadas para incrementar la durabilidad y estabilidad del terreno natural, con el objetivo de asegurar un rendimiento óptimo frente a cargas estructurales. Este procedimiento reviste una importancia crucial dentro de la ingeniería geotécnica, dado que facilita la optimización del comportamiento del suelo bajo construcciones, vías u otras obras civiles, reduciendo asentamientos diferenciales, favoreciendo la durabilidad de las estructuras y minimizando riesgos geotécnicos. Las técnicas de mejoramiento pueden ser mecánicas (como la compactación), físico-químicas (como la



cimentación con cal o cemento) o mediante inclusión de elementos estructurales (como pilotes o geotextiles), y su elección depende de las particularidades del terreno, los requerimientos tanto respecto al ambiente, como a nivel técnico y económico de la obra.

### **2.2.7. Subrasante en vías**

La subrasante es la capa más baja del mecanismo constructivo de un terreno, formada por el suelo natural o mejorado, que sirve de cimiento para las estructuras más altas como la subestructura, cimiento y capa superior asfáltica o de hormigón. Su tarea primordial es brindar apoyo y firmeza a toda la construcción del terreno, repartiendo las cargas del tráfico hacia el suelo que lo sostiene.

Las características técnicas de la subrasante, en particular su aptitud de apoyo, resistencia al corte, expansión y propensión a la humedad, impactan en forma directa en el rendimiento y sostenibilidad del pavimento.

En el caso de que el suelo natural no satisface los criterios básicos, se emplean métodos de mejora o consolidación (de manera mecánica, química o a través de geo sintéticos).

### **2.2.8. Propiedades del material de la capa de subrasante**

#### **Propiedades Físicas**

##### **Granulometría**

Según, Braja. M. D. (2018) El estudio granulométrico es un método esencial en la categorización de superficies, que facilita la determinación de la disposición de las dimensiones de las formaciones mediante tamizado (para terrenos gruesos) y sedimentación (para terrenos finos)



- Análisis por tamizado para partículas
- Curva granulométrica

**Tabla 2**

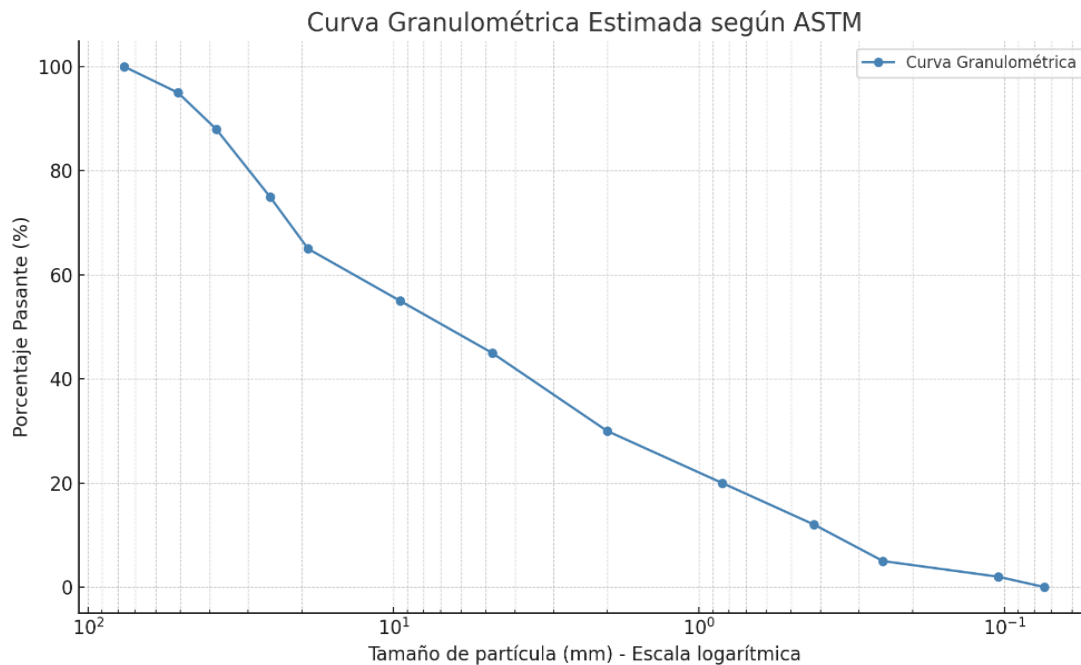
*Tamaño de los granos - Granulometría*

<b>Tamiz (ASTM)</b>	<b>Tamiz (Nch) (mm)</b>	<b>Abertura real (mm)</b>	<b>Tipología del terreno</b>
3"	80	76.12	GRAVA
2"	50	50.80	GRAVA
1 1/2"	40	38.10	GRAVA
1"	25	25.40	GRAVA
3/4"	20	19.05	GRAVA
3/8"	10	9.52	ARENA GRUESA
Nº 4	5	4.76	ARENA GRUESA
Nº 10	2	2.00	ARENA GRUESA
Nº 20	0.90	0.84	ARENA MEDIA
Nº 40	0.50	0.42	ARENA MEDIA
Nº 60	0.30	0.25	ARENA FINA
Nº 140	0.10	0.105	ARENA FINA
Nº 200	0.08	0.074	ARENA FINA

*Nota.* análisis que establece la disposición de la magnitud de los granos en una superficie determinada.

### **Análisis por tamizado:**

Examen que establece la distribución de la cantidad de los granos sobre una extensión específica, separando sus partículas según tamaño mediante una serie de tamices estandarizados. Se utiliza principalmente en terrenos granulares (arenas y gravas) para categorizar el contenido y examinar su funcionamiento mecánico.

**Figura 3****Curva Granulométrica**

*Nota.* Gráfica que representa la proporción porcentual de las dimensiones de partículas presentes en un entorno específico.

**Límites de Atterberg**

Según, Braja. M. D. (2018) Los límites de Atterberg constituyen pruebas empleadas para evaluar el funcionamiento plástico y líquido de los terrenos finos, delineando los intervalos de humedad en los que transita de una condición rígida a plástica y de este estado, a líquida. Estas barreras facilitan la clasificación de los terrenos y la predicción de su funcionamiento ingenieril, en particular su amplitud de trabajo, su amplitud de comprensión y su habilidad de extensión o descenso.

- LL
- LP
- IP



## **Propiedades Mecánicas**

### **Densidad Seca Máxima y Óptimo Contenido de Humedad**

Según, Braja. M. D. (2018) La densidad máxima seca de un terreno corresponde al valor más alto de densidad que puede alcanzarse mediante compactación, en tanto que el nivel de humedad ideal se refiere al que facilita la obtención de dicha densidad superior.

- Prueba Proctor Estándar
- Prueba Proctor Modificado

### **California Bearing Ratio (CBR)**

Según Braja, M. D. (2018) El ensayo CBR constituye un procedimiento empírico empleado para medir la habilidad de apoyo de los terrenos. El coeficiente de penetración (CBR) se determina contrastando la fuerza adecuada para introducir un pistón estándar en el terreno con la fuerza necesaria para alcanzar la misma abertura en un elemento de modelo, comúnmente piedra triturada. Este indicador se representa en forma de proporción y desempeña un papel fundamental en el planeamiento de pavimentos.

- California Bearing Ratio (CBR)

### **2.2.9. Clasificación de terrenos**

#### **Sistema Unificado de Clasificación de Terrenos (SUCS)**

Plantea la división de los terrenos en dos grandes grupos:



**Tabla 3**

*Sistema Unificado de Clasificación de Terrenos (SUCS)*

*Nota.* El Sistema Unificado de Clasificación de Terrenos (SUCS) categoriza los

<b>SIMBOLO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIPO</b>
<b>GW</b>	Grava bien gradada	Grava
<b>GP</b>	Grava mal gradada	Grava
<b>GM</b>	Grava con limo	Grava con finos
<b>GC</b>	Grava con arcilla	Grava con finos
<b>SW</b>	Arena bien gradada	Arena
<b>SP</b>	Arena mal gradada	Arena
<b>SM</b>	Arena con limo	Arena con finos
<b>SC</b>	Arena con arcilla	Arena con finos
<b>ML</b>	Limo inorgánico (baja plasticidad)	Terreno fino (LL < 50)
<b>CL</b>	Arcilla inorgánica (baja plast.)	Terreno fino (LL < 50)
<b>MH</b>	Limo inorgánico (alta plasticidad)	Terreno fino (LL > 50)
<b>CH</b>	Arcilla inorgánica (alta plast.)	Terreno fino (LL > 50)
<b>OL</b>	Limo orgánico	Orgánico
<b>OH</b>	Arcilla orgánica	Orgánico
<b>PT</b>	Turba	Altamente orgánico

terrenos según su granulometría y plasticidad

### **2.2.10. Sistema de clasificación de terrenos AASHTO**

El sistema de categorización de terrenos AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) constituye un enfoque extensamente empleado en el sector vial para analizar la aptitud de un terreno



como subrasante en la realización de pavimentos. Este método se encuentra especificado en la regulación AASHTO M 145, y categoriza los terrenos basándose en su granulometría y características de plasticidad.

**Tabla 4**

*Clasificación AASHTO*

Grupo AASHTO	Tipo de terreno predominante	% Pasa Tamiz N°200	Límite Líquido (LL)	Índice de Plasticidad (IP)	Calidad como Subrasante
A-1-a	Grava bien graduada con arena	≤ 35%	—	—	Excelente
A-1-b	Arena gruesa bien graduada	≤ 35%	—	—	Excelente
A-2-4	Arena con algo de fino	≤ 35%	≤ 40	≤ 10	Buena
A-2-5	Arena con algo de fino	≤ 35%	> 40	> 10	Buena
A-2-6	Arena con arcilla	≤ 35%	≤ 40	> 10	Regular
A-2-7	Arena con arcilla	≤ 35%	> 40	> 10	Regular
A-3	Arena fina limpia	≤ 10%	—	—	Buena
A-4	Limo de baja plasticidad	> 35%	≤ 40	≤ 10	

*Nota.* La clasificación AASHTO categoriza los terrenos para su uso en pavimentos, basándose en granulometría, plasticidad y amplitud de soporte.

Es un sistema que clasifica terrenos para carreteras según sus propiedades físicas (granulometría y plasticidad) para predecir su comportamiento como subrasante.

Divide los terrenos en 7 grupos (A-1 a A-7) y usa un Índice de Grupo (IG) para afinar la calidad: Menor IG = mejor terreno para subrasante.



## 2.3. MARCO CONCEPTUAL

### 2.3.1. Conceptos Fundamentales de Cimentación

#### Cimentación de Terrenos

Braja M. D. La cimentación de terrenos constituye una serie de técnicas destinadas a la optimización de las características estructurales y funcionales de los terrenos naturales, tales como su robustez, su sostenibilidad y su aptitud de soporte, mediante el uso de aditivos químicos, materiales cementantes o técnicas mecánicas, especialmente cuando se trabaja con terrenos de baja calidad

#### **Cal como estabilizador**

Moreira M, J. D. & Ortiz, H. E. (2024) La investigación sobre la eficacia de la cal respecto a su propiedad estabilizadora en terrenos arcillosos abordó la incertidumbre respecto a su eficacia, teniendo en cuenta el nivel de expansión del suelo y los porcentajes de aplicación. Los hallazgos indican la necesidad de un ajuste meticuloso de los porcentajes de cal, dado que potencia su característica portante de la subrasante sin poner en riesgo la compactación del suelo.

#### **Cemento como estabilizador**

Habeeb, S. (2020) El cemento Portland ordinario es un estabilizador químico eficaz para optimizar la durabilidad de terrenos utilizados como subrasante y subbase en construcción de carreteras y vía férrea. No obstante, el porcentaje óptimo de cemento varía respecto a la categoría de terreno y la región, por lo que se requieren estudios específicos para determinar la dosificación adecuada en cada caso.



## 2.3.2. Propiedades y Características del Terreno

- a. Subrasante: Carlos (2021) indica que esta refiere a una capa de terreno
- b. natural, el cual sostiene la plataforma del asfalto y se expande hacia una extensión donde las fuerzas del transporte no tienen impacto (p. 67).
- c. **Amplitud de Soporte:** Ricardo (2021) refiere a que tanto resiste el terreno de la subrasante bajo deformaciones en cargas del tránsito. Esta propiedad se mide principalmente a través del ensayo CBR (p. 156).
- d. **Índice CBR:** Según Huamán y Romero (2023) refiere a un ensayo que examina cuanto resiste el terreno al corte bajo contexto manipulados de densidad y humedad, contrastando que tan resistente es una muestra de terreno sobre los materiales regulares (p. 89).

## 2.3.3. Propiedades Físicas y Mecánicas

- a. **Límites de Atterberg:** Mendoza (2022) indica que son contenidos de humedad específicos en los cuales existe una variación de estado físico del terreno. Incluyen el LL, LP y el IP (p. 34).
- b. **Granulometría:** Torres y Vásquez (2024) la describen en torno a cómo se distribuyen diversas dimensiones de las partículas presentes en el suelo, calculada en calidad de una cantidad del volumen completo del terreno. en torno a la muestra seca (p. 78).
- c. **Densidad Máxima Seca:** Según López (2023), es "el máximo peso unitario seco que nivel de densidad puede lograr un área con un cierto nivel de humedad mediante una potencia de reducción particular" (p. 112).

## 2.3.4. Aspectos Normativos y Técnicos

**Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)** documento normativo principal que regula los requisitos para la selección, planificación y edificación de las estructuras constructivas de una vía diseñada y



construida, incluyendo la subrasante. Este manual especifica los valores mínimos de durabilidad, principalmente el Índice CBR, que deben cumplir los terrenos estabilizados para asegurar su amplitud portante.

**Norma Técnica E-060: Terrenos y Materiales para Construcción** establece las propiedades materiales y estructurales que deben presentar los terrenos tratados con estabilizantes químicos, así como los procedimientos para la dosificación, mezcla y compactación de cal y cemento.

### **Especificaciones Técnicas**

De acuerdo con Ramírez (2023), los requerimientos técnicos se definen como "el listado de exigencias y parámetros que debe cumplir un terreno estabilizado para garantizar su adecuado comportamiento como parte de la estructura del pavimento" (p. 145).

### **Control de Calidad**

García y Pérez (2024) esto refiere al grupo de fases y ensayos que permiten verificar que los materiales y procesos constructivos acaten los requerimientos mostrados en especificaciones de carácter técnico (p. 167).

### **Normas Complementarias y Guías Técnicas**

Además de las normas locales, pueden aplicarse normativas internacionales como las de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), American Society for Testing and Materials (ASTM) y guías del Instituto del Asfalto para el diseño y comportamiento de pavimentos.

### **Consideraciones de Seguridad Vial y Sostenibilidad**

Los aspectos técnicos también consideran elementos de seguridad vial, tales como señalización, visibilidad, drenaje eficiente y condiciones de fricción.



## CAPÍTULO III

### PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio es de tipo aplicada, haciendo uso de métodos, procedimientos y procesos sistemáticos con el objetivo de calcular datos importantes y generar soluciones prácticas a un problema específico en relación con la cimentación de terrenos en la capa de subrasante. (Hernández, 2014)

#### 3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

De igual forma, posee un nivel explicativo, buscando evaluar las relaciones de causa y efecto respecto a las variables estudiadas. A través de uso de grupos de control y la manipulación de las proporciones de aditivos naturales (cal y cemento) el objetivo es elucidar la manera en que estas alteraciones afectan las cualidades del terreno de subrasante, generando cambios medibles y verificables. (Hernández, 2014)

#### 3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño del estudio fue experimental, estableciendo grupos diferenciados: uno para la muestra natural y otros en los que se realizan modificaciones



mediante diferentes combinaciones de aditivos, con el objetivo de examinar las repercusiones acerca de las características del terreno de subrasante (combinación de cal y cemento). (Borja, 2012)

### **3.4. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.4.1. Enfoque cuantitativo**

El enfoque cuantitativo fue usado en el estudio, debido a que posee el fin de medir numéricamente la incidencia del uso de estabilizadores (cal y cemento) con respecto a la aptitud de apoyo de los terrenos de la subrasante en las vías de la ciudad de Juliaca.

Este enfoque se caracteriza por la obtención y evaluación de información cuantificables mediante la realización de pruebas de laboratorio estandarizados, como el ensayo CBR, granulometría, límites de Atterberg y Proctor modificado permitiendo establecer relaciones causales y determinar el nivel de optimización del terreno tratado.

#### **3.4.2. Enfoque cualitativo**

El presente estudio adopta un enfoque cualitativo con el objetivo de comprender en profundidad la incidencia del uso de cal y cemento en la optimización respecto a la aptitud de apoyo de los terrenos de subrasante en las vías de la ciudad de Juliaca. A diferencia de los enfoques cuantitativos, que buscan medir variables específicas mediante datos medibles numéricamente, este enfoque basa su estudio en la exploración y comprensión de experiencias, percepciones, significados y contextos relacionados con el fenómeno de estudio.



## **3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.5.1. Población**

Vías urbanas con terrenos de subrasante reducida potencia de apoyo en la ciudad de Juliaca, Puente Las Américas, en su intersección con la Avenida Perú. Este tramo representa las condiciones geotécnicas típicas de la zona, lo que permite examinar el comportamiento del terreno ante la adición de cal y cemento para optimizar de sus cualidades técnicas y estructurales.

### **3.5.2. Muestra**

El estudio se llevó en vías de la ciudad de Juliaca, Puente Las Américas, en su intersección con la Avenida Perú. En el cual se evaluó el comportamiento del terreno de subrasante a través de la adición de cal y cemento, aplicadas en medidas variables, buscando optimizar sus propiedades mecánicas y físicas.

## **3.6. TÉCNICAS FUENTES E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN**

### **3.6.1. TÉCNICA**

- Muestreo de material
- Ensayos físicos
- Ensayos mecánicos
- Mezcla de cal y cemento, en porcentajes.

### **3.6.2. INSTRUMENTO**

- Equipos de laboratorio
- Formatos de ensayo
- Software de análisis



### 3.6.3. ENFOQUE

El estudio posee un enfoque cuantitativo, puesto que el tratamiento de la información se da de manera numérica y estadística. (H. Hugo Sánchez Carlessi, 2018)

### 3.7. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO

Para asegurar que los hallazgos de este estudio sean válidos y confiables, se han considerado los siguientes aspectos:

#### 3.7.1. Validez

La validez del instrumento es al grado que tienen los procedimientos y equipos utilizados permiten medir de manera precisa y adecuada las propiedades técnicas y estructurales de los terrenos estabilizados. Los ensayos de laboratorio se realizaron conforme a los requisitos técnicos nacionales e internacionales, específicamente:

- **Normas ASTM** (American Society for Testing and Materials)
- **Normas AASHTO** (American Association of State Highway and Transportation Officials)
- **Normas del MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú)**, series E-100 a E-144.

Los procedimientos aplicados incluyeron los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico (tamizado e hidrómetro)
- Límites de Atterberg (límites líquido y plástico)
- Ensayo Proctor modificado (Porcentaje máximo de densidad seca y grado ideal de humedad)
- Ensayo CBR, tanto en condiciones no tratadas como con diferentes porcentajes de adición de cal y cemento.



Asimismo, las muestras de terreno y las mezclas estabilizadas fueron preparadas, mezcladas y curadas bajo condiciones controladas, asegurando así que los resultados reflejen de manera válida la composición real de los terrenos de subrasante en las vías de la ciudad de Juliaca.

### 3.7.2. Confiabilidad

La confiabilidad del instrumento evalúa la consistencia y reproducibilidad de los resultados obtenidos. Para garantizar este aspecto, se adoptaron las siguientes medidas:

- **Calibración periódica** de los equipos del *Laboratorio de Ingeniería, Geotecnia y Construcción Company S.A.C. (IGC Company S.A.C.)*, incluyendo moldes Proctor, balanzas electrónicas, hornos de secado, compactadores, y la máquina de ensayo CBR.
- **Repetición de ensayos:** los ensayos fueron realizados por duplicado o triplicado, con el fin de verificar la estabilidad y coherencia de los resultados.
- **Control en la toma y preparación de muestras:** Las evidencias de terreno se extrajeron, transportaron y alistaron siguiendo protocolos rigurosos que minimizan posibles alteraciones en sus características físicas y mecánicas.
- **Supervisión técnica especializada:** todos los ensayos fueron ejecutados bajo la supervisión de personal técnico calificado del *Laboratorio IGC Company S.A.C.*, garantizando así la correcta aplicación de los procedimientos y reduciendo la probabilidad de errores sistemáticos o aleatorios.





## CALICATA Nº 01

- Latitud: 15°29'37.6" Sur (-15.48756°)
- Longitud: 70°06'52.2" Oeste (-70.14761°)
- Altitud: 3825 m.s.n.m.
- Sistema de referencia geodésico: GV4P+F6R Juliaca

## CALICATA Nº 02

- Latitud: 15°29'39.1" Sur (-15.48756°)
- Longitud: 70°06'48.2" Oeste (-70.14761°)
- Altitud: 3825 m.s.n.m.
- Sistema de referencia geodésico: GV4P+8JH Juliaca

Se llevaron a cabo dos calicatas en el lugar para la obtención de evidencias representativas del terreno natural de la subrasante. En esta actividad orienta la planificación de trabajos posteriores, las partículas se sometieron a pruebas de laboratorio con el objetivo de analizar el análisis granulométrico, límites de Atterberg, Proctor modificado y la amplitud de soporte (CBR) antes y después de aplicar estabilizantes como cal y cemento Portland.

### 3.8.2. Representación gráfica del perfil estratigráfico

El diagrama que ilustra el esquema estratigráfico consiste en la elaboración de una columna vertical esquemática que muestra de forma ordenada y a escala la disposición, espesor y características de los diferentes estratos de terreno identificados en el sitio de estudio, desde la superficie hasta la profundidad explorada.

Este perfil constituye un instrumento esencial en el campo de la ingeniería geotécnica, dada su amplitud para facilitar la visualización clara de la secuencia de materiales, sus propiedades físicas (color, textura, estructura), su

comportamiento geomecánica (amplitud portante, drenaje, plasticidad), y las intervenciones realizadas (como cimentación con cemento). Además, facilita la interpretación del comportamiento del terreno ante cargas estructurales y orienta las decisiones de diseño y construcción, especialmente en obras viales como la selección u optimización de subrasantes.

## Figura 5

*Muestra de la profundidad de cada capa*



*Nota.* Calicata medida a profundidad

Una de las primeras actividades al realizar una calicata es la medición precisa de su profundidad, ya que este dato es esencial para correlacionar la ubicación vertical de las capas del terreno y registrar con exactitud los cambios litológicos o estructurales. Esta medición también es clave para determinar la profundidad máxima alcanzada por la excavación, identificar el nivel freático si está presente, y organizar la recolección de análisis y la implementación de pruebas de entorno, como pruebas de penetración, durabilidad o compactación.

La profundidad de la calicata se mide con instrumentos sencillos pero precisos, como una regla metálica rígida, una cinta métrica graduada o una varilla calibrada, que se introduce verticalmente hasta tocar el fondo de la excavación. La lectura debe hacerse desde la superficie natural del terreno o desde un punto de referencia previamente establecido.

**Tabla 5**

*Perfil estratigráfico del terreno*

PROF. (1.70m)	SÍMBOLO	DESCRIPCION DEL TERRENO	MUESTRA	CLASIFICACIÓN	
				SUCS	AASHTO
0.00 0.10 0.20		MATERIAL INORGANICO	-	-	-
0.30 0.40 0.50		LIMOS INORGANICOS CON ARENAS FINAS	S - 02	ML	A - 4
0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 1.10		LIMOS INORGANICOS CON ARCILLA	S - 03	CL - ML	A - 6
1.20 1.30 1.40		LIMOS ARCILLOSOS CON TRAZAS DE ARENA	S - 04	CL	A - 7 - 6
1.50 1.60		ARCILLA LIMOSA NATURAL	E - 02	CL	A - 7 - 6
1.70		NIVEL FREÁTICO	-	-	-

*Nota.* Diagrama estratigráfico del terreno

El perfil del terreno está compuesto exclusivamente por materiales inorgánicos finos, principalmente limos y arcillas con plasticidad que oscila entre reducida y mediana. Desde los 0.20 m hasta los 1.40 m se observa una transición

desde limos arenosos (ML, A-4) a limos y arcillas plásticas (CL-ML y CL, A-6 y A-7-6). Estos terrenos presentan baja amplitud portante, alta sensibilidad a la humedad y comportamiento desfavorable como subrasante sin tratamiento. El nivel freático a 1.70 m donde las circunstancias de saturación pueden tener un impacto adverso en la firmeza del terreno. Se recomienda evaluar su cimentación o reemplazo para cumplir con los requisitos estructurales del pavimento.

**Tabla 6**

*Perfil estratigráfico del terreno natural (profundidad 1.70m)*

Profundidad (m)	Descripción del Terreno	Código de Muestra	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO
0.00 – 0.20	MATERIAL INORGÁNICO	–	–	–
0.20 – 0.60	Limos inorgánicos con arenas finas	S-02	ML	A-4
0.60 – 1.10	Limos inorgánicos con arcilla	S-03	CL-ML	A-6
1.10 – 1.40	Limos arcillosos con trazas de arena	S-03	CL	A-7-6
1.40 – 1.70	Arcilla limosa natural	E-02	CL	A-7-6
1.70	-	NIVEL FREÁTICO	-	-

*Nota.* comportamiento del terreno natural

El perfil de terreno estudiado hasta los 1.70 metros de profundidad está compuesto exclusivamente por materiales inorgánicos finos, principalmente limos y arcillas con diferentes grados de plasticidad, implicando una menor suficiencia natural como subrasante vial. A continuación, se describen e interpretan los distintos estratos encontrados:



**De 0.00 a 0.20 m**, se observa un material inorgánico sin clasificar, posiblemente correspondiente a una capa superficial alterada o de relleno sin propiedades claras. Aunque no presenta signos de materia orgánica, se recomienda su evaluación adicional para determinar si puede utilizarse como parte de la subrasante.

**De 0.20 a 0.60 m**, se identifican limos inorgánicos con arenas finas, clasificados como ML de acuerdo con el modelo SUCS y A-4 según AASHTO. Este tipo de terreno tiene baja plasticidad, es moderadamente permeable, no obstante, exhibe una facultad de apoyo limitada y es vulnerable a variaciones en la humedad, lo que puede afectar negativamente su comportamiento como subrasante.

**De 0.60 a 1.10 m**, el perfil pasa a un material más cohesivo: limos inorgánicos con contenido de arcilla, clasificados como CL-ML (SUCS) y A-6 (AASHTO). Este terreno presenta plasticidad media, menor permeabilidad y mayor cohesión. Sin embargo, sigue considerándose de bajo rendimiento estructural, con tendencia a asentamientos y deformaciones bajo carga.

**Entre 1.10 y 1.40 m**, se encuentran limos arcillosos con trazas de arena, clasificados como CL (SUCS) y A-7-6 (AASHTO). Estos terrenos son altamente plásticos, con muy baja amplitud portante y gran sensibilidad a la saturación, lo que los convierte en materiales críticos si no se estabilizan adecuadamente.

**De 1.40 a 1.70 m**, el material es una arcilla limosa natural, también clasificada como CL (SUCS) y A-7-6 (AASHTO), con características similares al estrato anterior. Se trata de un terreno cohesivo, plástico y poco adecuado como subrasante sin tratamiento.

Finalmente, el grado freático se encontró a los 1.70 metros hacia el interior, lo cual puede representar un riesgo para la estabilidad de los estratos superiores,

### 3.8.3. Extracción de muestras del terreno

Durante la inspección del perfil estratigráfico de la calicata, se identificó entre las profundidades de 0.60 m a 1.10 m un estrato compuesto principalmente por limos arcillosos con trazas de arena, respecto a CL según SUCS y A-7-6 según AASHTO. Este tipo de terreno presenta alta plasticidad, baja amplitud portante y escasa permeabilidad, condiciones que pueden generar problemas de expansión, retracción y baja estabilidad volumétrica cuando se utiliza como subrasante vial sin tratamiento.

Dada la naturaleza desfavorable de este material, se procedió a la extracción del terreno original en ese intervalo y su posterior cimentación in situ a través de adición de un agente estabilizante (Cal y Cemento).

Proceso de cimentación aplicado:

- Profundidad intervenida: De 0.60 m a 1.10 m (espesor de 0.40 m)
- Tipo de terreno intervenido: Limo inorgánicos con arcilla (CL - ML)
- Método de cimentación: Cimentación mecánica y química
- Agente estabilizante utilizado: Cal hidratada al 5% del peso respecto al terreno seco

Resultados esperados:

- Reducción de la plasticidad y del índice de contracción del terreno.
- Incremento en la amplitud portante (CBR) del material estabilizado.
- Optimización de la sostenibilidad y la resistencia al agua, mitigando su vulnerabilidad a la humedad.
- Mayor uniformidad y la solidez constructiva de la subrasante.

**Figura 6**

*Extracción de muestras del terreno – Calicata N° 01*



*Nota.* Las muestras de terreno fueron extraídas mediante calicatas de 1.70 m de profundidad.

**Figura 7**

*Extracción de muestras del terreno – Calicata N° 02*



*Nota.* muestra del terreno natural proveniente de la calicata N°.02 excavada con una profundidad de 1.70m.

### 3.8.4. Ensayos en laboratorio

- **Análisis Granulométrico**

**Norma aplicada:** ASTM D422 / AASHTO T-88

**Procedimiento:** Calicata N° 01 y 02

1. Se secó la selección de tierra en un horno a 105–110 °C para mantener un peso estable.
2. Se pesó la cantidad requerida (aprox. 500 g a 1000 g).
3. Se tamizó en seco mediante una serie de mallas estandarizadas (4", 10", 40", 200", etc.).
4. Se calculó el porcentaje retenido y pasante para cada malla.
5. Se graficó la curva granulométrica y el terreno fue clasificado conforme al esquema SUCS.

#### Figura 8

*Ensayo granulométrico por tamizado – Calicata N° 01*



*Nota.* Se aplicó el método de tamizado según normas ASTM para establecer la repartición de dimensiones de partículas en el suelo de subrasante.

**Figura 9**

*Ensayo granulométrico por tamizado – Calicata N° 02*



*Nota.* Se aplicó el método de tamizado según normas ASTM para establecer la repartición de dimensiones de partículas en el suelo de subrasante.

- **Límites de Atterberg (líquido, plástico e índice de plasticidad)**

**Norma aplicada:** ASTM D4318 / AASHTO T-89 y T-90

**Procedimiento:** Calicata N° 01 y 02

- **Límite líquido (LL):**

1. Fue mezclado el terreno fino (pasante malla #40) con agua.
2. Se utilizó el dispositivo de Casagrande establecer la cantidad de impactos necesarios para cerrar una brecha estándar.
3. Fue repetido con diferentes humedades para obtener una curva.

- **Límite plástico (LP):**

1. Se moldeó el terreno hasta formar un hilo de 3 mm de abertura.
2. Se estableció el nivel de humedad en el que se inicia el proceso de desmoronamiento del hilo.

- **Índice de plasticidad (IP):**

1. Se calculó como:  $IP = LL - LP$ .

### Figura 10

*Ensayo de Límites de Atterberg – Calicata N° 01*



*Nota.* Fue realizado el ensayo de límites de Atterberg para evaluar la variación de los límites de consistencia del terreno de subrasante

### Figura 11

*Ensayo de Límites de Atterberg – Calicata N° 02*



*Nota.* Se aplicó el método de tamizado según normas ASTM para establecer la repartición de dimensiones de partículas en el terreno de subrasante.

- **Ensayo Proctor (compactación óptima)**



## Procedimiento: Calicata N° 01 y 02

### 1. Preparación del terreno:

- El terreno es secado al aire y tamizado por la malla N° 4 (4.75 mm).
- Se mezclan diferentes cantidades de agua para preparar cinco muestras con diferentes humedades.

### 2. Compactación:

- Se utiliza un molde cilíndrico de  $1/30 \text{ ft}^3$  ( $944 \text{ cm}^3$ ) con un pisón de 4.5 kg que cae respecto a una altura de 45.7 cm.
- El suelo se consolida en cinco niveles, proporcionando 25 impactos por nivel.
- Para cada muestra, se documenta el volumen total y se determina la densidad húmeda.

### 3. Determinación de humedad:

- Se selecciona una fracción de alguna cantidad compactada y se somete a secado en horno a una temperatura de 105 a 110 °C con el objetivo de evaluar el grado de humedad.

### 4. Cálculos:

- Se procede al cálculo de la densidad seca con respecto a los diferentes niveles de humedad.
- Se grafican los valores de densidad seca vs. humedad buscando establecer:
  - Densidad máxima seca
  - Humedad adecuada de compactación

El ensayo Proctor permitió la tarea consiste en establecer la humedad óptima y la densidad superior seca del terreno en las calicatas 01 y 02. Estos factores son fundamentales para asegurar una reducción apropiada en proyectos de infraestructuras viales.

**Figura 12**

*Ensayo de Proctor Modificado – Calicata N° 01*



*Nota.* Se llevó a cabo la prueba modificada de Proctor con el objetivo de establecer la correlación respecto al nivel de humedad y la densidad seca del terreno.

**Figura 13**

*Ensayo de Proctor Modificado – Calicata N° 02*



*Nota.* Se llevó a cabo la prueba modificada de Proctor con el objetivo de establecer la correlación respecto al nivel de humedad y la densidad seca del terreno

- **Ensayo CBR**

**Norma aplicada:** ASTM D1883 / AASHTO T-193

**Procedimiento:** Calicata N° 01 y 02

1. La muestra fue preparada utilizando la humedad apropiada derivada del test Proctor.
2. Se compactó en tres capas dentro de un molde CBR, aplicando la energía de compactación estándar.
3. Se curó la muestra (con o sin inmersión en agua, según el caso).
4. Se aplicó una carga vertical con un pistón a velocidad constante (1.27 mm/min).
5. Se registraron las cargas necesarias para penetraciones de 2.5 y 5.0 mm.
6. Se determinó el CBR en calidad de el porcentaje de carga sobre la carga total con respecto a un valor estándar.

## Figura 14

*Ensayo de CBR – Calicata N° 01*



*Nota.* La evaluación del ensayo CBR mide la durabilidad técnica y la potencia portante del terreno fijo.

**Figura 15**

*Ensayo de CBR – Calicata N° 02*



*Nota* Se llevó a cabo el experimento de límites de Atterberg para evaluar la variación de los límites de consistencia del terreno de subrasante



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 4.1. RESULTADOS – CALICATA Nº 01

##### 4.1.1. Análisis Granulométrico por tamizado de subrasante

El estudio granulométrico constituye un experimento de laboratorio empleado para establecer la repartición de dimensiones de fragmentos en un terreno determinado. En el caso de terrenos destinados a subrasante vial, este análisis permite conocer su composición en términos de gravas, arenas, limos y arcillas, y evaluar su idoneidad mecánica y estabilidad bajo carga.

La normativa ASTM D422 o AASHTO T88 regula los pasos a seguir, e implica el tamizado en seco de cierta muestra previamente secada, haciendo uso de tamices con aberturas normalizadas. El contenido conservado en determinado tamiz es pesado y se determina el grado que se transfiere por alguno de ellos, obteniéndose así una curva granulométrica.

Este análisis permite: Organizar el terreno según los sistemas USCS y AASHTO

Los ensayos de granulometría realizados al terreno de la subrasante arrojaron los siguientes resultados:



**Tabla 7**

*Análisis Granulométrico - Tamizado de Subrasante C-1*

Nº de Malla	Abertura (mm)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	76.2	0	0	100
2"	50.8	0	0	100
1 1/2"	38.1	0	0	100
1"	25.4	0	0	100
3/4"	19	0	0	100
3/8"	9.5	0.48	0.48	99.52
Nº 4	4.75	0.37	0.85	99.15
Nº 10	2	8.09	8.95	91.05
Nº 20	0.84	3	11.95	88.05
Nº 40	0.425	2.75	14.69	85.31
Nº 60	0.25	12.59	27.28	72.72
Nº 100	0.15	6.48	33.76	66.24
Nº 200	0.075	8.66	42.43	57.57
< Nº 200	-	57.57	100	0

*Nota.* El análisis realizado revela las características de las dimensiones de las partículas encontradas en el terreno del entorno.

**4.1.2. Análisis Granulométrico por tamizado de subrasante**

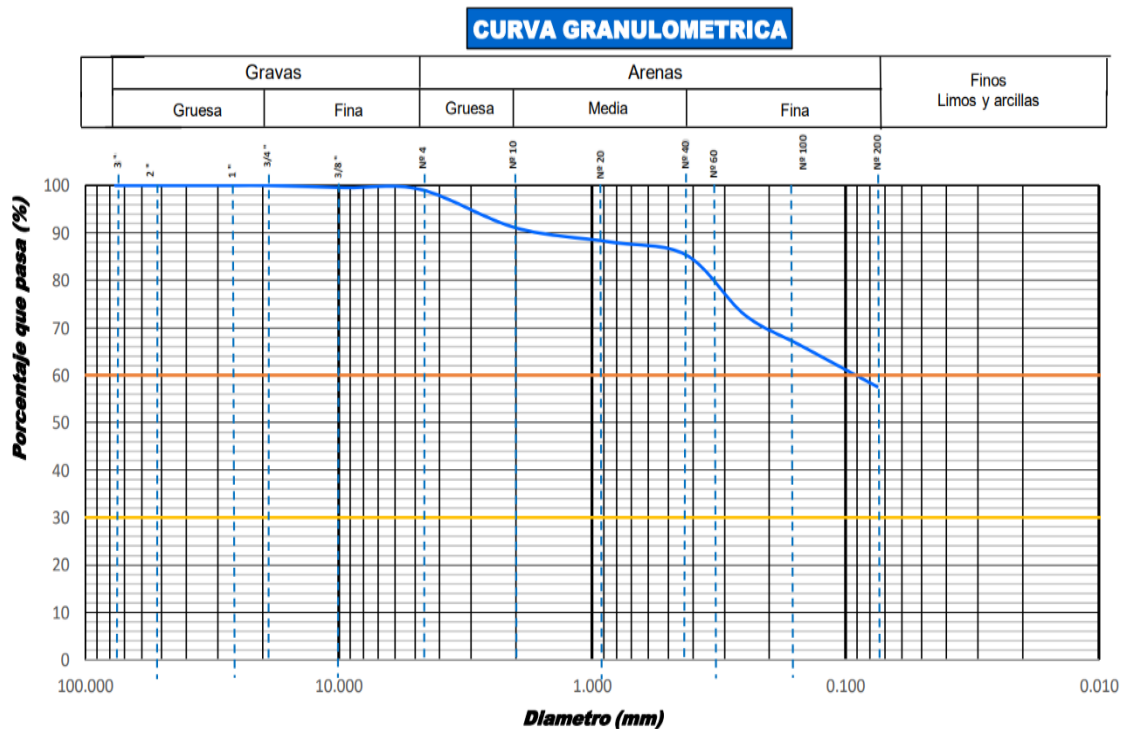
Adicionalmente, se evidencia que el material grueso es prácticamente inexistente, ya que el porcentaje retenido en las mallas superiores (3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8") es nulo o mínimo. Solo se registra 0.48% en la malla de 3/8" (9.5 mm), y a partir de la malla Nº 4 (4.75 mm), el porcentaje retenido comienza a aumentar ligeramente.

Esto permite afirmar que el terreno es de granulometría fina, predominantemente compuesto por limos y arcillas. Esta clase de terreno tiende a exhibir una aptitud de apoyo reducida, una elevada plasticidad y una elevada sensibilidad a la

humedad, atributos que respaldan la necesidad de optimización o cimentación para su uso como subrasante vial.

**Figura 16**

*Curva granulométrica del terreno natural del terreno natural C-1*



*Nota.* La curva granulométrica ilustra la repartición de dimensiones de las partículas del suelo.

### 4.1.3. Análisis de la Curva Granulométrica por tamizado de subrasante Terreno Natural

La curva granulométrica obtenida para la muestra de la Calicata - 01 revela una distribución de partículas claramente inclinada hacia los materiales finos, lo cual es coherente con la proporción que supera la prueba del tamiz N° 200, que alcanza el 57.57%. Este valor supera ampliamente el umbral del 35% que, según la agrupación AASHTO, distingue los terrenos finos de los gruesos, lo que permite clasificar el terreno como fino.



Asimismo, se observa que el material presenta muy poca proporción de grava o arena gruesa, ya que más del 99% penetra la malla N° 4 (4.75 mm). La mayor parte del material se concentra en los tamaños menores a 2 mm, evidenciando una distribución uniforme hacia partículas finas.

La forma de la curva, con un tramo largo y poco inclinado, indica que el terreno tiene poca graduación o una mala distribución de tamaños. Esto sugiere que el material no es bien graduado (mal gradado), lo cual puede reflejar una estructura interna poco densa, con espacios vacíos mal aprovechados por la falta de partículas intermedias.

Este tipo de terrenos finos, especialmente si presentan alta plasticidad y alto contenido de arcilla, suelen mostrar amplitud de soporte (CBR) reducida y elevada vulnerabilidad a variaciones de humedad. Estas condiciones hacen que el comportamiento del terreno como subrasante sea inadecuado para una estructura vial sin tratamiento.

Por ello, los resultados de la granulometría respaldan la necesidad de cimentación con cal y/o cemento, para mejorar sus características técnicas, disminuir la plasticidad y potenciar su resistencia a la humedad. La cimentación contribuirá a optimizar el desempeño del terreno como parte de la estructura del pavimento.

#### **4.1.4. Análisis Granulométrico del Terreno Natural – Distribución de Tamaños de Partícula**

Según los hallazgos del estudio granulométrico efectuado sobre la superficie de terreno, se obtuvo la siguiente distribución de partículas:

- % de Grava: 0.9%
- % de Arena: 41.6%



- % de Finos: 57.6%

Esta disposición señala que el suelo está principalmente formado por partículas finas, superando el 50%, lo cual sugiere un comportamiento cohesivo.

#### 4.1.5. Límites de Atterberg C – 1 Terreno Natural

Efectos precisos de las limitaciones de solidez:

Numero de golpes: 17, 25, 34

Humedad Natural: 20.4%

- LL: 29.15%
- LP: 16.0%
- IP: 13.1%

El terreno natural de la calicata C-1 presenta una Humedad Natural de 20.4%, una limitación líquida de 29.15% y una limitación plástica de 16.00%, lo que da como resultado un índice de plasticidad de 13.1%

**Tabla 8**

*Limitaciones en la consistencia del terreno natural*

Calicata	Límite Líquido (LL)	Límite Plástico (LP)	Índice de Plasticidad (IP = LL - LP)
C - 01	29.15	16.00	13.10

#### 4.1.6. Clasificación del Terreno Natural:

*Nota.* El terreno de C-01 tiene LP y bajo nivel de apoyo, requiere cimentación.

- Según AASHTO: A – 4.
- Según SUCS: ML.

Nombre del Grupo: Limos inorgánicos con arenas muy finas.



El terreno se clasifica como A-4 (AASHTO) y ML (SUCS), lo que sugiere un compuesto con plasticidad reducida y características típicas de terrenos finos poco cohesivos.

**4.1.7. Proctor Modificado – Relación Humedad–Densidad del Terreno Natural C-1**

**Tabla 9**

*Proctor modificado - terreno natural C-1*

Terreno Natural	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
0%	1	1.608	1.45	10.6
	2	1.92	1.72	13.1
	3	1.82	1.59	14.6

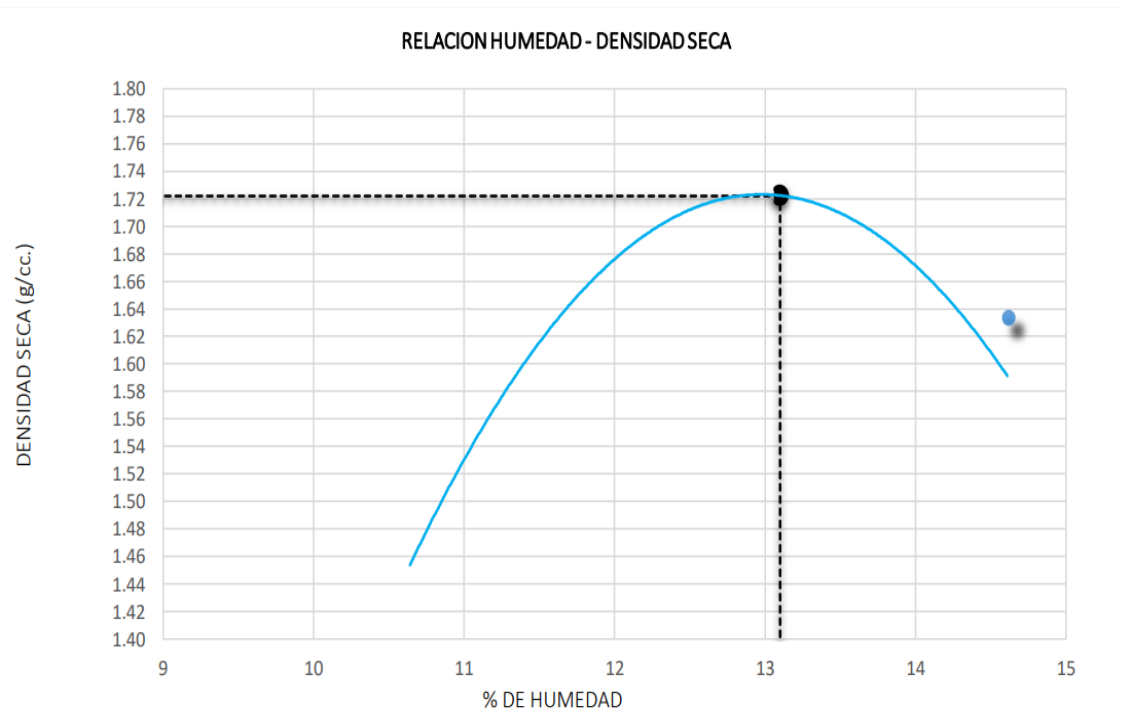
*Nota.* el mayor valor de densidad seca medido directamente en laboratorio (1.72 g/cm<sup>3</sup>), el valor de 13.10% fue determinado mediante la interpolación gráfica.

El ensayo de densidad y humedad busca determinar las condiciones in situ del terreno, es decir, cómo está el terreno realmente en el terreno, sin alterarlo ni compactarlo artificialmente.

Permite **evaluar la compactación natural** del terreno.

**Figura 17**

Correspondencia entre Humedad – Densidad Seca del terreno natural C-1



*Nota.* El valor de 13.10% permite identificar con mayor precisión el punto de densidad máxima, lo cual es una práctica estándar en ensayos Proctor.

**Resultado Final:**

- Densidad Máxima: 1.72 g/cm<sup>3</sup>
- Contenido de Humedad: 13.10%

**4.1.8. Límites de Atterberg y Clasificación – C-1 con Adición de 2% 4% y 6% de Cal****Cal 2%**

Resultados detallados de límites de consistencia:

Numero de golpes: 17, 26, 32

- LL: 38.70%
- LP: 17.69%
- IP: 11.0%



## Cal 4%

Efectos precisos de límites de consistencia:

Numero de golpes: 16, 24, 30

- LL: 27.51%
- LP: 18.66%
- IP: 8.9%

## Cal 6%

Resultados detallados de límites de consistencia:

Numero de golpes: 18, 23, 31

- LL: 23.99%
- LP: 17.02%
- IP: 7.0%

Se llevaron a cabo evaluaciones de los límites de consistencia del terreno natural tratado con 2%, 4% y 6% de cal. Los resultados muestran una reducción progresiva del límite líquido (LL) y del índice de plasticidad (IP) conforme se incrementa el contenido de cal. Esto pone de manifiesto una mejora en la plasticidad del terreno, favoreciendo su comportamiento como subrasante estabilizada.

**Tabla 10**

Límites de Atterberg adicionando un 2%, 4% y 6% de Cal C-1

% de Cal	Límite Líquido (LL %)	Límite Plástico (LP %)	Índice de Plasticidad (IP %)
0%	29.15	16.00	13.15
2%	28.70	17.69	11.00
4%	27.51	18.66	8.9
6%	23.99	17.02	7.0

*Nota.* La adición de cal reduce el LL y el IP, optimizando la estabilidad del terreno mediante reacciones químicas que consolidan su estructura.

#### 4.1.9. Clasificación del Terreno – Calicata N° 01 Con % de Cal

Según AASHTO: la categoría A-6 corresponde a terrenos con plasticidad media y arcillosos, mientras que A-4 es para terrenos limosos y arenosos con menor plasticidad.

Según SUCS: CL es arcilla de baja plasticidad, ML limo inorgánico de baja plasticidad, y MH limo orgánico.

#### 4.1.10. Densidad seca máxima con 2% de Cal Calicata N° 01

**Tabla 11**

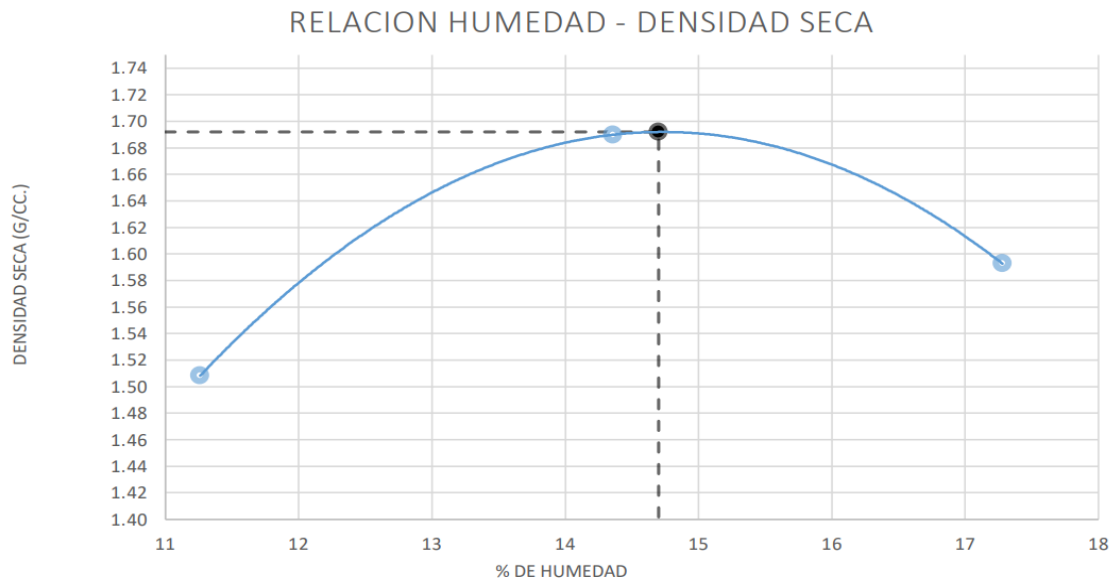
Proctor Modificado con adición de 2% de Cal C-1

% de Cal	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
2%	1	1.671	1.51	10.8
	2	1.92	1.69	13.9
	3	1.86	1.59	16.8

*Nota.* Se evaluaron las características materiales del terreno consolidado con 2% de cal mediante tres determinaciones.

**Figura 18**

*Correspondencia entre Humedad – Densidad Seca con 2% de Cal C-1*



*Nota.* El 14.20% se obtuvo a partir del análisis gráfico de los hallazgos del ensayo.

#### 4.1.11. Análisis del Proctor Modificado con adición de 2% de Cal

El ensayo Proctor Modificado con adición de 2% de cal se propone evaluar el impacto de la cal en la compactación y comportamiento del terreno, particularmente en cuanto a su densidad máxima seca y nivel adecuado de humedad. La cal se emplea habitualmente como un componente estabilizador, especialmente en terrenos arcillosos de baja durabilidad o alta plasticidad.

El experimento estableció que la superficie estabilizada con un 2% de cal logra una densidad seca más alta de 1.69 g/cm<sup>3</sup> a un grado adecuado de humedad del 14.20%.

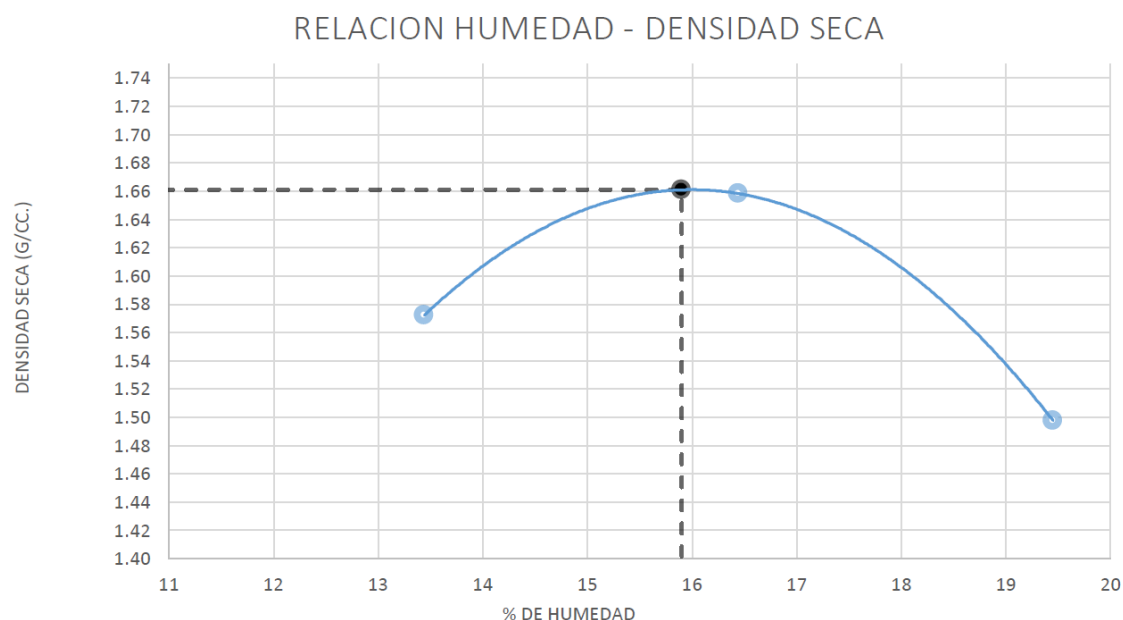
#### Resultado Final:

- Densidad Máxima: 1.69 g/cm<sup>3</sup>
- Contenido de Humedad: 14.20%

**4.1.12. Densidad seca máxima con 4% de Cal - Calicata N° 01****Tabla 12***Proctor Modificado con adición de 4% de Cal C-1*

% de Cal	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
4%	1	1.776	1.57	12.9
	2	1.92	1.66	15.4
	3	1.78	1.50	19.0

*Nota.* Se evaluaron las características mecánicas del terreno estabilizado con 4% de cal mediante tres determinaciones.

**Figura 19***Correspondencia entre Humedad – Densidad Seca con 4% de Cal C-1*

*Nota.* El 15.40% evidencia la condición ideal para maximizar la densidad y optimizar la estabilidad del terreno estabilizado con cal.



#### 4.1.13. Análisis del Proctor Modificado con adición de 4% de Cal

Al aplicar 4% de cal, el terreno evidencia una densidad seca máxima de  $1.66 \text{ g/cm}^3$  a un material de calidad óptima de humedad de 15.4%, según la segunda determinación. Esto sugiere que en dicho punto, el terreno logra su nivel máximo de compactación, un escenario óptimo para maximizar su sostenibilidad y solidez. Los resultados reflejan un buen comportamiento del terreno estabilizado frente al proceso de compactación.

#### Resultado Final:

- Densidad Máxima:  $1.66 \text{ g/cm}^3$
- Contenido de Humedad: 15.4%

## 4.1.14. Densidad seca máxima con 6% de Cal - Calicata N° 01

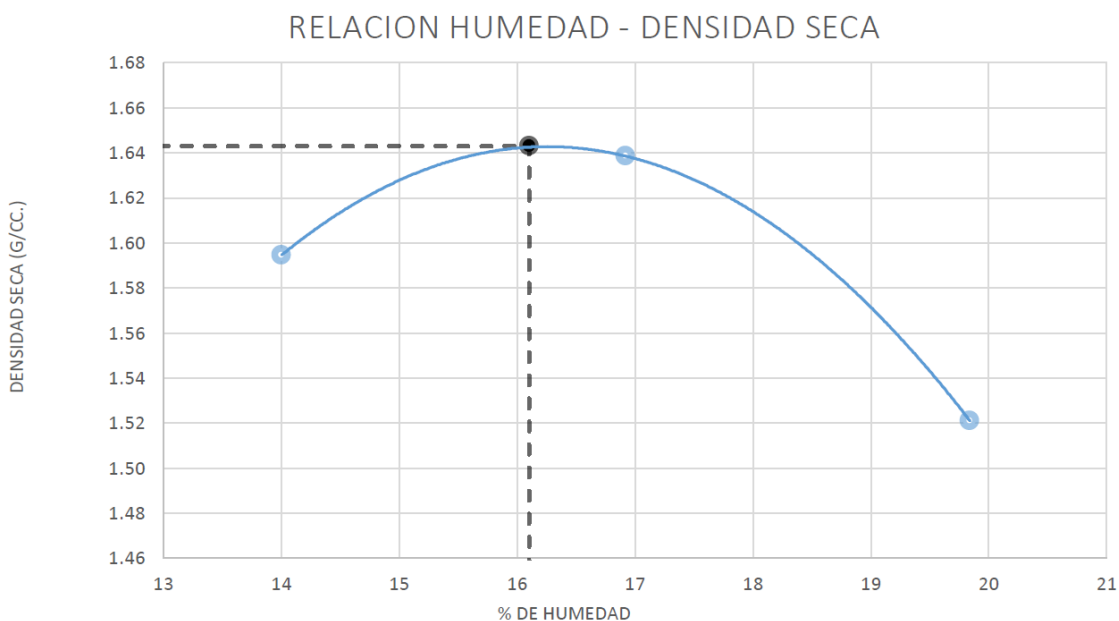
Tabla 13

*Proctor Modificado con Adición de 6% de Cal C-1*

% de Cal	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
6%	1	1.818	1.59	14.0
	2	1.92	1.64	16.1
	3	1.82	1.52	19.8

*Nota.* Se evaluaron los caracteres físicos del terreno estabilizado con 6% de cal mediante tres determinaciones.

Figura 20

*Correspondencia entre Humedad – Densidad Seca con 6% de Cal C-1*

*Nota.* El 16.10% evidencia que es la condición ideal para maximizar la densidad y optimización en la estabilidad del terreno compactado con cal.



**4.1.15. Análisis del Proctor Modificado con adición de 6% de Cal**

Los hallazgos derivados del terreno estabilizado con un 6% de cal indican que se logró una densidad seca superior de 1.64 g/cm<sup>3</sup>, con un grado apropiado de humedad del 16.10%, correspondiente a la segunda determinación. Esto indica que, al aumentar la dosificación de cal, el terreno demanda un incremento en la proporción de agua para lograr su concreción óptima.

**Resultado Final:**

- Densidad Máxima: 1.64 g/cm<sup>3</sup>
- Contenido de Humedad: 16.10%

**4.1.16. Proctor Modificado con Porcentajes de 2%, 4%, 6% de Cal**

**Tabla 14**

*Proctor modificado con adición de 2%, 4% y 6% de Cal C-1*

% de Cal	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
2%	1	1.671	1.51	10.8
	2	1.92	<b>1.69</b>	<b>13.9</b>
	3	1.86	1.59	16.8
4%	1	1.776	1.57	12.9
	2	1.92	<b>1.66</b>	<b>15.4</b>
	3	1.78	1.5	19.0
6%	1	1.818	1.59	14.0
	2	1.92	<b>1.64</b>	<b>16.1</b>
	3	1.82	1.52	19.8

*Nota.* En negrita se resaltan los valores de densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo obtenidos en el respectivo porcentaje de cal.

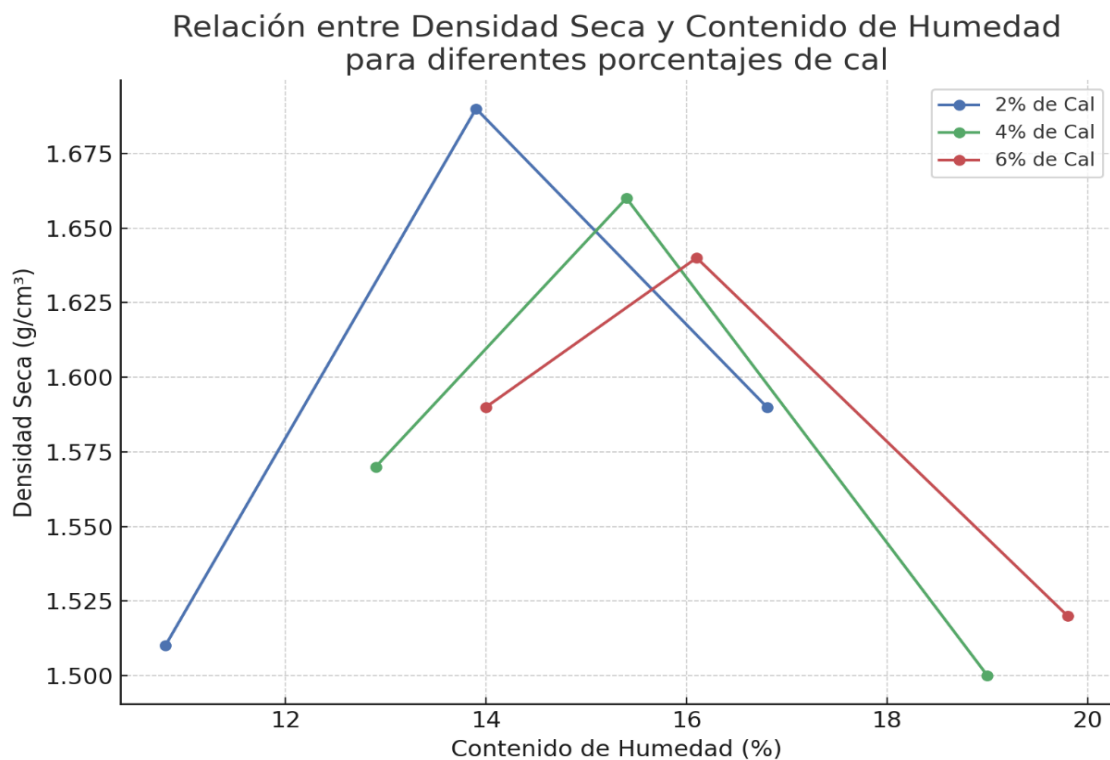
### 4.1.17. Proctor Modificado con Porcentajes de 2%, 4%, 6% de Cal

Conforme se intensifica la dosis de cal del 2% al 6%, se evidencia una reducción marginal en la densidad seca superior (de 1.69 a 1.64 g/cm<sup>3</sup>), así como un incremento constante del grado apropiado de humedad (de 13.9% a 16.1%).

Este comportamiento es común en terrenos finos estabilizados con cal, a causa de la reacción de los minerales arcillosos con el hidróxido de calcio, lo cual genera estructuras más abiertas (floculación), que retienen mayor cantidad de agua. A pesar de la leve reducción en densidad seca, esta cimentación optimiza notablemente la trabajabilidad y durabilidad a largo plazo del terreno.

**Figura 21**

*Densidad Seca y Contenido de Humedad con % de Cal C-1*



*Nota.* Variación de la densidad seca en función de la cantidad de humedad para cada porcentaje de Cal



### Tendencia típica de compactación:

En cada serie (2%, 4%, 6% de cal), la curva muestra el comportamiento típico de compactación:

Conforme se incrementa la cantidad de humedad, la densidad seca experimenta un incremento inicial (hasta alcanzar un nivel óptimo) y luego disminuye si la humedad es excesiva.

#### 4.1.18. Cuadro Comparativo – Ensayo Proctor Modificado con Adición de 2%, 4%, 6% de Cal

Tabla 15

*Proctor modificado con % de Cal C-1*

% Cal	Densidad Seca Máxima (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad Óptima (%)
2%	1.69	13.9
4%	1.66	15.4
6%	1.64	16.1

*Nota.* Al aumentar el porcentaje de cal del 2% al 6%, la densidad seca máxima disminuye ligeramente.

#### 4.1.19. Análisis Comparativo – Ensayo Proctor Modificado con Adición de 2%, 4%, 6% de Cal

La tabla muestra la forma de variación de la densidad seca máxima y la humedad adecuada del terreno al adicionar 2%, 4% y 6% de cal:



Con el 2% de cal, se obtuvo la más grande densidad seca máxima (1.69 g/cm<sup>3</sup>) y la menor humedad óptima (13.9%), lo que indica un buen nivel de compactación con poca necesidad de agua.

Al aumentar al 4% de cal, la densidad seca se reduce a 1.66 g/cm<sup>3</sup>, mientras la humedad óptima aumenta a 15.4%, reflejando una mayor demanda de agua a causa de a la reacción química que se produce respecto a la cal y los finos del terreno.

Con el 6% de cal, se observa la menor densidad seca (1.64 g/cm<sup>3</sup>) y la mayor humedad óptima (16.1%), lo que sugiere que el exceso de cal no optimiza la concreción, sino que se disminuye gradualmente, incrementando la proporción de agua requerida.

**4.1.20. CBR al 95% MDS (%) y CBR al 100% MDS (%) con Adición de 2% 4% y 6% de Cal – C-1**

**Tabla 16**

*CBR al 95% y 100% MDS con 2%, 4% y 6% de Cal C-1*

% De Cal	Máxima Densidad Seca	Máxima Densidad Seca al 95%	Optimo Contenido de Humedad	CBR (95% M.D.S) 0.1"	CBR (100% M.D.S) 0.1"
0%	1.72	1.64	13.1	5.7%	7.9%
2%	1.69	1.61	14.2	6.9%	9.2%
4%	1.66	1.58	15.4	9.1%	10.7%
6%	1.64	1.56	16.1	10.2%	12.4%

*Nota.* La incorporación de cal en el terreno de subrasante resulta en una reducción marginal de la densidad máxima seca y en un incremento del nivel ideal de humedad.



#### 4.1.21. Análisis Del CBR al 95% MDS (%) y CBR al 100% MDS (%) con 2%, 4%, 6% de Cal – C-1

La tabla muestra:

##### A. Máxima densidad seca (MDS)

Se observa una reducción escalar de la MDS al aumentar el porcentaje de cal.

De  $1.72 \text{ g/cm}^3$  (sin cal)  $\rightarrow$  a  $1.64 \text{ g/cm}^3$  (con 6% de cal).

##### Interpretación:

Esto se debe a la reacción de la cal añadida a las partículas del terreno: La cal provoca floculación (formación de agregados más grandes y menos densos).

Además, la generación de productos cementantes (silicatos y aluminatos de calcio hidratados) ocupa mayor volumen.

Como resultado, se pierde algo de densidad, aunque se gana estructura.

##### B. Óptimo contenido de humedad (OCH)

Se incrementa según crece la cantidad de cal:

De 13.1% (sin cal)  $\rightarrow$  a 16.1% (con 6% de cal).

##### Interpretación:

El aumento del OCH es típico en terrenos estabilizados con cal porque:

La cal consume agua en las reacciones químicas (hidrólisis, carbonatación, reacción puzolánica).

Se necesita una mayor cantidad de agua para alcanzar una compactación óptima debido a la mayor superficie específica de los agregados formados.

##### C. CBR (95% y 100% de MDS)

Ambos valores de CBR aumentan progresivamente al adicionar cal:

CBR (95%) sube de 5.7%  $\rightarrow$  10.2%.



CBR (100%) sube de 7.9% → 12.4%.

### **Interpretación técnica:**

El incremento del CBR indica la cantidad de apoyo del terreno optimiza de forma relevante tras añadir cal.

Esto se debe a la optimización en las propiedades del terreno y a la estructuración de productos cementantes que:

- Reducen la plasticidad.
- Incrementan la cohesión interna.
- Aumentan la durabilidad a la introducción (que mide el CBR).

La ganancia de CBR es muy notoria ya desde el 2% y sigue creciendo hasta el 6%.

La adición de cal genera una optimización progresiva en la amplitud portante del terreno (CBR), siendo así, deseable para su uso como subrasante.

La cimentación con cal mostró una tendencia clara de disminución de la densidad seca y aumento del contenido adecuado de humedad. Sin embargo, la optimización en la amplitud portante del terreno, reflejada en los valores de CBR, fue significativa: existió un crecimiento de más del 75% en el CBR (95% MDS) al pasar de 0% a 6% de cal. Estos resultados demuestran que la anexión de cal es una estrategia eficaz para optimizar las condiciones mecánicas de la subrasante en terrenos de la región de Juliaca.

#### **4.1.22. Límites de Atterberg y Clasificación – C-1 con Adición de 3%, 5% y 7% de Cemento**

##### **Cemento 3%**

Resultados detallados de límites de consistencia:

Numero de golpes: 17, 25, 34



- LL: 27.06%
- LP: 16.54%
- IP: 10.5%

## **Cemento 5%**

Resultados detallados de límites de consistencia:

Numero de golpes: 16, 24, 30

- LL: 25.23%
- LP: 16.57%
- IP: 8.7%

## **Cemento 7%**

Resultados detallados de límites de consistencia:

Numero de golpes: 18, 26, 33

- LL: 25.29%
- LP: 18.51%
- IP: 6.8%

Se evaluaron los límites de consistencia del terreno.

**Límite Líquido (LL):** Decrece ligeramente de **27.06 %** (3% cemento) a **25.23 %** (5% cemento).

Se mantiene casi constante entre 5 % y 7 % de cemento (25.29 %).

El descenso del LL indica que el terreno tratado reduce su afinidad por el agua.

El cemento, al reaccionar con las arcillas y finos del terreno (reacción puzolánica), forma compuestos estables que ocupan los espacios porosos, dificultando la absorción de agua.



Esta reducción es moderada, esto indica que el terreno alberga un volumen restringido de arcilla reactiva.

**Límite Plástico (LP):** Se mantiene prácticamente constante entre 3 % y 5 % (16.5 %).

Aumenta a 18.51 % con 7 % de cemento.

El aumento del LP a altos contenidos de cemento puede explicarse por el hecho de que, a mayor cantidad de cemento, se generan más productos de reacción que incrementan la cohesión Inter particular.

Esto hace que el terreno permanezca plástico en un rango de humedad más amplio, ya que las partículas están más cementadas.

Este aumento del LP no es negativo, pero debe ser controlado para evitar que el terreno se torne pegajoso o cohesivo en exceso.

**Índice de Plasticidad (IP):** Reduce consistentemente con el incremento de cemento:

- **10.5 %** (3 % cemento)
- **8.7 %** (5 % cemento)
- **6.8 %** (7 % cemento)



**Tabla 17**

*Límites de Atterberg con 3%, 5% y 7% de Cemento C-1*

<b>% de Cemento</b>	<b>Límite Líquido (LL %)</b>	<b>Límite Plástico (LP %)</b>	<b>Índice de Plasticidad (IP %)</b>
<b>0%</b>	29.15	16.00	13.15
<b>3%</b>	27.06	16.54	10.5
<b>5%</b>	25.23	16.57	8.7
<b>7%</b>	25.29	18.51	6.8

*Nota:* La adición de cemento al terreno redujo progresivamente su IP de 13.15 % (natural) a 6.8 % (7 % cemento)

**4.1.23. Análisis de Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad con Adición de 2% 4% y 6% de Cemento – C-1**

La evolución de los límites de Atterberg del terreno C-2 con anexión de cemento muestra una tendencia favorable para la cimentación:

**Límite Líquido (LL):** Disminuye de 29.15 % (natural) a 25.29 % (7 % cemento). Esta reducción refleja una menor amplitud del terreno para almacenar agua en estado líquido, resultado de la generación de materiales cementantes que incrementan la densidad de la consistencia del suelo.

**Límite Plástico (LP):** Se mantiene prácticamente constante entre 16.00 % y 16.57 % hasta el 5 % de cemento, aumentando luego a 18.51 % con el 7 % de cemento. Este aumento a altos contenidos de cemento sugiere una mayor cohesión interna generada por los productos de la reacción cemento-terreno.



**Índice de Plasticidad (IP):** Disminuye de 13.15 % a 6.8 %, indicando una importante disminución de la plasticidad del terreno. Esto significa que el terreno tratado posee inferior susceptibilidad a cambios volumétricos y más estable frente a variaciones de humedad.

**4.1.24. Clasificación del Terreno – Calicata N° 01 Con % de Cemento**

**SEGÚN SUCS:** Como  $LL < 50 \%$ , terreno de baja plasticidad → arcilla de baja plasticidad (CL), siempre que más del 50 % pase por el tamiz No. 200.

**SEGÚN AASHTO:** Si superior al 35 % pasa el No. 200 → grupo A-6 (típico para arcillas de baja plasticidad).

Ambos sistemas coinciden en identificar este tipo de terreno como arcilloso, plástico y de baja amplitud de soporte.

**4.1.25. Densidad seca máxima con Adición de 3% de Cemento - Calicata N° 01**

**Tabla 18**

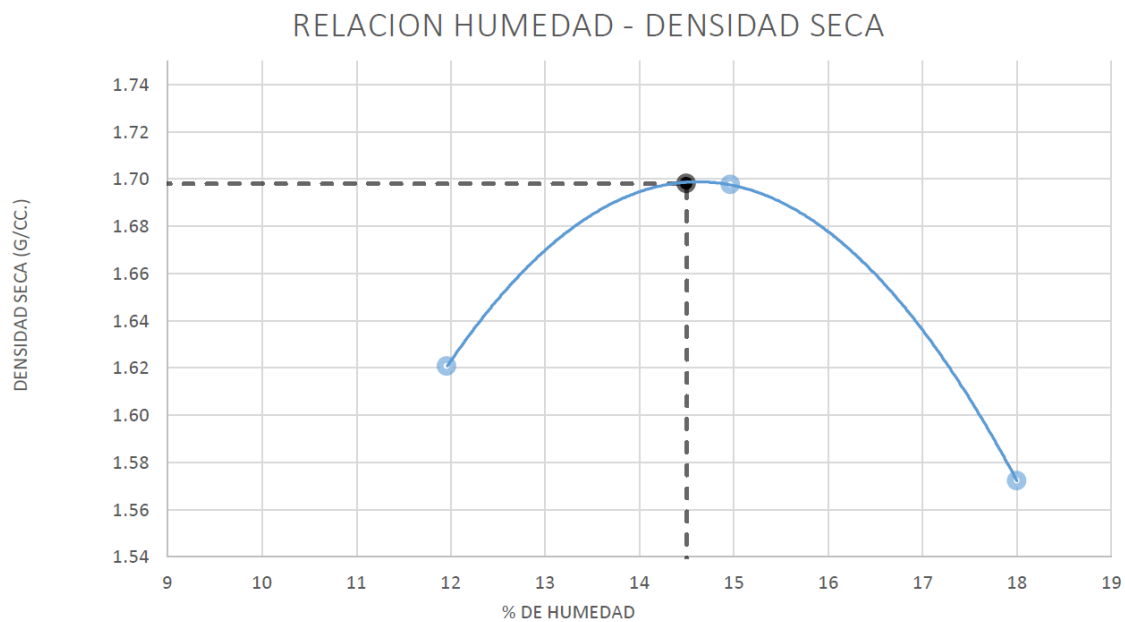
*Proctor modificado con adición de 3% de Cemento C-1*

% de Cemento	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
3%	1	1.814	1.62	12.0
	2	1.95	1.70	14.5
	3	1.86	1.57	18.0

*Nota:* Se evaluaron las características mecánicas del terreno estabilizado con 3% de cal mediante tres determinaciones.

**Figura 22**

Correspondencia entre Humedad – Densidad Seca con 3% de Cemento C-1



*Nota.* El 14.50% evidencia que resulta la condición ideal para maximizar la densidad y optimizar la estabilidad del terreno con cal.

#### 4.1.26. Análisis del Proctor Modificado con adición de 3% de Cemento

El ensayo Proctor determinó que el terreno estabilizado con 3% de cemento su densidad seca elevada se sitúa en 1.70 g/cm<sup>3</sup>, con un grado adecuado de humedad del 14.50%. Este índice simboliza la proporción de humedad con la que el terreno alcanza su consistencia máxima, optimizando así sus propiedades mecánicas para su uso en subrasante.

#### Resultado Final:

- Densidad Máxima: 1.70 g/cm<sup>3</sup>
- Cantidad de Humedad: 14.50%

## 4.1.27. Densidad seca máxima con Adición de 5% de Cemento -

### Calicata N° 01

**Tabla 19**

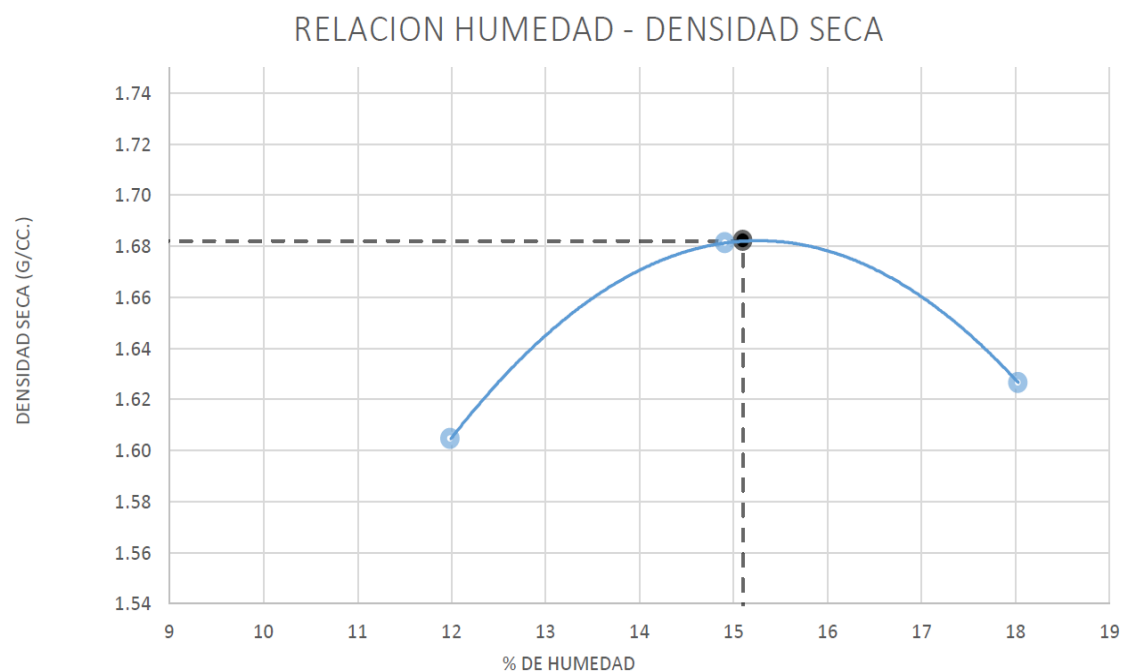
*Proctor modificado con adición de 5% de Cemento C-1*

% de Cemento	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
5%	1	1.797	1.60	12.0
	2	1.93	1.68	15.1
	3	1.92	1.63	18.0

*Nota:* Se evaluaron las características mecánicas del terreno estabilizado con 5% de cemento mediante tres determinaciones.

**Figura 23**

*Correspondencia entre Humedad – Densidad Seca con 5% de Cemento C-1*



*Nota.* El 15.10% se obtuvo a partir del análisis gráfico de los hallazgos del ensayo Proctor modificado.



**4.1.28. Análisis del Proctor Modificado con adición de 5% de Cemento**

La densidad seca de nivel superior obtenida es aproximadamente 1.68 g/cm<sup>3</sup>, alcanzada con una cantidad de humedad de 15.1 %.

Cada que incrementa la humedad, la densidad seca muestra un comportamiento típico:

Al 12.0 % de humedad: 1.60 g/cm<sup>3</sup>

Al 15.1 % de humedad: 1.68 g/cm<sup>3</sup> (densidad seca máxima)

Al 18.0 % de humedad: 1.63 g/cm<sup>3</sup> (descenso esperado tras el punto óptimo)

**Resultado Final:**

- Densidad Máxima: 1.68 g/cm<sup>3</sup>
- Contenido de Humedad: 15.1%

**4.1.29. Densidad seca máxima con Adición de 7% de Cemento - Calicata N° 01**

**Tabla 20**

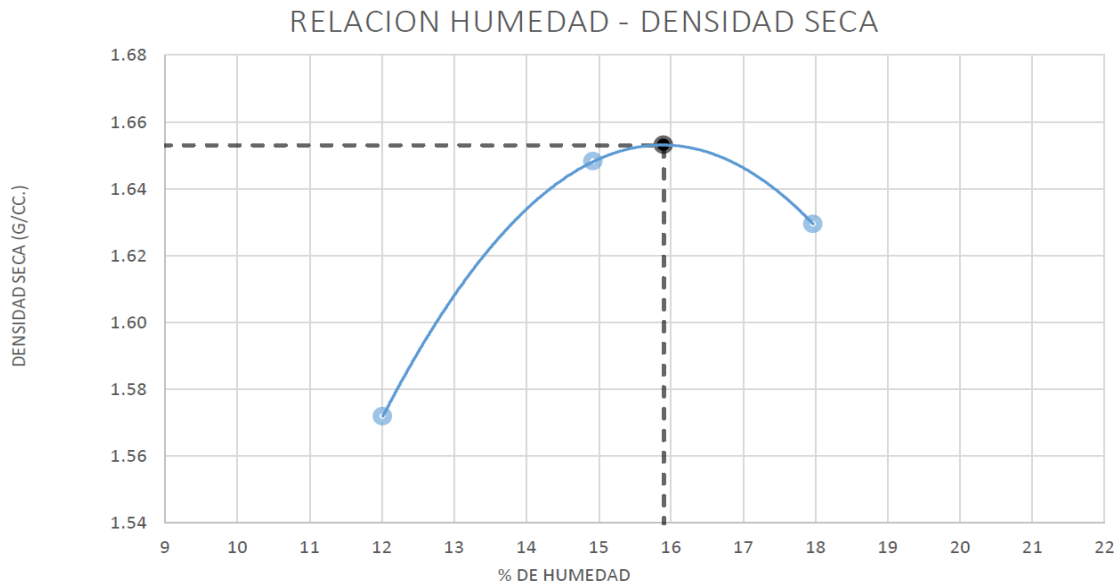
*Proctor modificado con adición de 7% de Cemento C-1*

% de Cemento	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
7%	1	1.761	1.57	12.0
	2	1.89	1.65	15.9
	3	1.92	1.63	18.0

*Nota:* Se evaluaron las características mecánicas del terreno estabilizado con 7% de cemento mediante tres determinaciones.

**Figura 24**

*Correspondencia entre Humedad – Densidad Seca con 7% de Cemento C-1*



*Nota:* El 15.90% se obtuvo a partir del análisis gráfico de los hallazgos del ensayo Proctor modificado.

#### **4.1.30. Análisis del Proctor Modificado con adición de 7% de Cemento**

Los hallazgos derivados del terreno estabilizado con un 7% de cemento indican que se logró una densidad seca superior de 1.65 g/cm<sup>3</sup>, con un grado adecuado de humedad del 15.9%, correspondiente a la segunda determinación. Esto indica que, al aumentar la dosificación de cal, el terreno demanda un incremento en el volumen de agua para lograr su consistencia máxima.

La densidad seca superior obtenida se estima en 1.65 g/cm<sup>3</sup>, lo cual se logra con un grado de humedad del 15.9 %.

Al igual que en la prueba con 5 % de cemento, se observa un comportamiento típico de la curva Proctor:

Al 12.0 % de humedad: densidad seca de 1.57 g/cm<sup>3</sup>.

Al 14.9 % (punto óptimo): 1.65 g/cm<sup>3</sup>.

Al 18.0 % de humedad: ligera disminución a 1.63 g/cm<sup>3</sup>.



La ligera reducción de la densidad seca a mayores contenidos de humedad confirma que el terreno alcanza su óptima compactación alrededor del 15.9% de humedad.

**Comparación con el 5 % de cemento:**

La densidad seca máxima con 7 % de cemento (1.65 g/cm<sup>3</sup>) es levemente inferior a la obtenida con 5 % de cemento (1.68 g/cm<sup>3</sup>).

Esto es un comportamiento esperado, ya que el aumento de la consistencia de cemento incrementa la rigidez respecto la matriz del terreno, lo que puede limitar su compactación máxima.

**Resultado Final:**

- Densidad Máxima: 1.65 g/cm<sup>3</sup>
- Contenido de Humedad: 15.9%

**4.1.31. Proctor Modificado con Porcentajes de 3%, 5% y 7% de Cemento**

**Tabla 21**

*Proctor modificado con 3%, 5% y 7% de Cemento C-1*

% de Cemento	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
3%	1	1.814	1.62	12
	2	1.95	<b>1.7</b>	<b>14.5</b>
	3	1.86	1.57	18
5%	1	1.797	1.6	12
	2	1.93	<b>1.68</b>	<b>15.1</b>
	3	1.92	1.63	18
7%	1	1.761	1.57	12
	2	1.89	<b>1.65</b>	<b>15.9</b>
	3	1.92	1.63	18

*Nota:* En negrita se resaltan los índices de densidad seca máxima y la cantidad de humedad óptimo obtenidos respecto al porcentaje de cal.



#### **4.1.32. Análisis de Proctor Modificado con Porcentajes de Cemento**

Se puede observar que, al aumentar el índice de cemento, la densidad seca superior decrece ligeramente.

Cada muestra fue preparada con el porcentaje correspondiente de cemento, mezclada homogéneamente con el terreno seco, y compactada según lo señalado por la normativa ASTM D1557. Posteriormente, se obtuvo la curva de compactación para cada dosificación.

Al mismo tiempo, la cantidad de humedad adecuada parece aumentar gracias al porcentaje de cemento.

#### **Densidad húmeda**

La densidad húmeda sigue un comportamiento coherente con la densidad seca y la humedad.

A mayor contenido de humedad, la densidad húmeda tiende a incrementarse hasta cierto punto y luego estabilizarse.

#### **Comportamiento esperado**

La ligera disminución de la densidad seca máxima con mayor contenido de cemento es un comportamiento normal, ya que:

El cemento aporta partículas más finas y ligeras que no contribuyen tanto a la densificación como los granos minerales pesados del terreno natural.

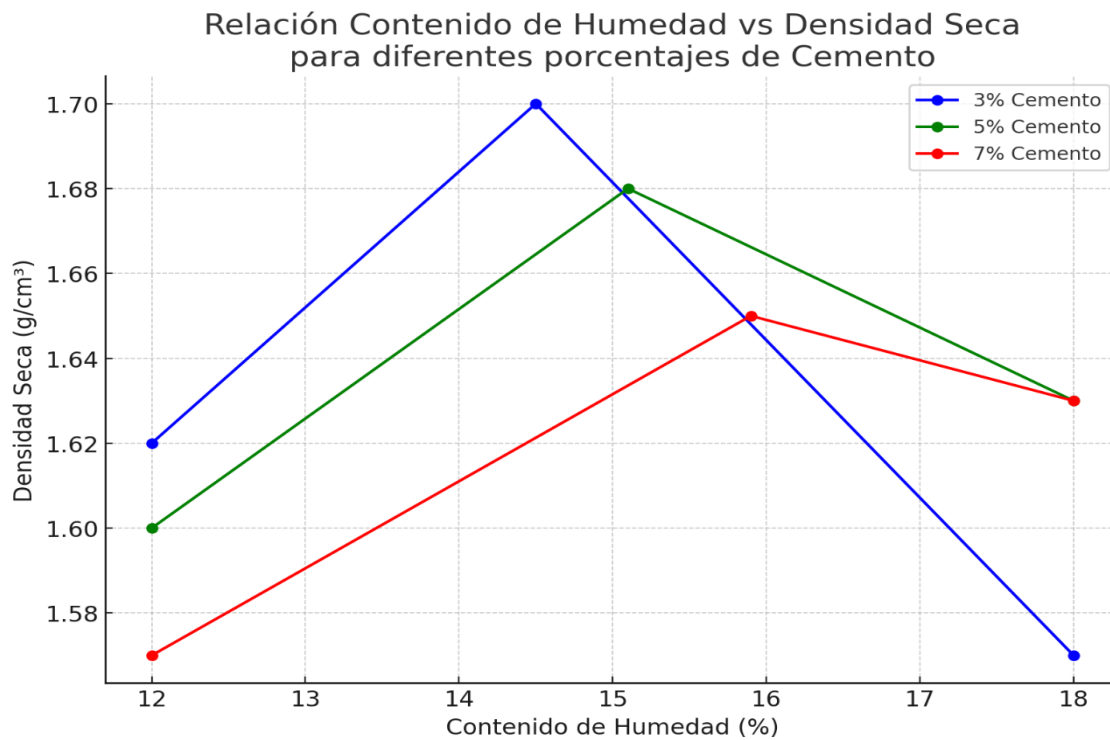
Además, las reacciones químicas entre cemento y terreno consumen parte del agua y generan productos cementantes que pueden cambiar el componente del terreno.

El aumento en el contenido de humedad adecuado resulta esperado porque:

Se requiere más agua para hidratar el cemento y facilitar las reacciones químicas.

Figura 25

Densidad Seca y Humedad Optima con % de Cemento C-1



*Nota:* la gráfica muestra la asociación respecto a los componentes de humedad y la densidad seca para cada porcentaje de cemento (3%, 5% y 7%).

#### 4.1.33. Análisis de las curvas del Proctor Modificado con Porcentajes de 3%, 5%, y 7% de Cemento

Cada curva tiene una forma típica de curva de compactación (similar a una parábola).

**La densidad seca máxima** es lograda respecto a la cantidad de humedad intermedio, que aumenta ligeramente a medida que sube el % de cemento.

Las curvas se desplazan un poco hacia la derecha (mayor humedad) y hacia abajo (menor densidad máxima) con más cemento.



#### 4.1.34. Cuadro Comparativo – Ensayo Proctor Modificado con Adición de 2%, 4%, 6% de Cemento

**Tabla 22**

*Comparativo de Proctor Modificado con % de Cemento C-1*

<b>% Cemento</b>	<b>Densidad Seca Máxima (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Humedad Óptima (%)</b>
3%	1.70	14.5
5%	1.68	15.1
7%	1.65	15.9

*Nota.* Se puede observar que, al aumentar el porcentaje de cemento, la densidad seca máxima decrece ligeramente. Al mismo tiempo, la cantidad de humedad adecuada parece aumentar con el porcentaje de cemento.

#### 4.1.35. Análisis Comparativo – Ensayo Proctor Modificado con Adición de 2%, 4%, 6% de Cal

##### **Densidad húmeda**

La densidad húmeda sigue un comportamiento coherente con la densidad seca y la humedad.

A mayor contenido de humedad, la densidad húmeda tiende a incrementarse hasta cierto punto y luego estabilizarse.

##### **Comportamiento esperado**

La ligera disminución de la densidad seca superior con mayor contenido de cemento es un comportamiento normal, ya que el cemento aporta partículas más finas y ligeras que no contribuyen tanto a la densificación como los granos minerales pesados del terreno natural. Además, las reacciones químicas entre



cemento y terreno consumen parte del agua y generan productos cementantes que pueden cambiar la estructura del terreno.

#### 4.1.36. CBR al 95% MDS (%) y CBR al 100% MDS (%) con Adición de 3%, 5% y 7% de Cemento – C-1

**Tabla 23**

*CBR al 95% y 100% MDS con 3%, 5% y 7% de Cemento C-1*

% De Cemento	Máxima Densidad Seca	Máxima Densidad Seca al 95%	Optimo Contenido de Humedad	CBR (95% M.D.S) 0.1"	CBR (100% M.D.S) 0.1"
0%	1.72	1.64	13.1	5.7%	7.9%
3%	1.70	1.61	14.5	9.8%	7.5%
5%	1.68	1.50	15.1	10.9%	8.9%
7%	1.65	1.57	15.9	13.1%	10.7%

*Nota:* La anexión de cemento al terreno de subrasante genera una leve decreción de la densidad máxima seca y un incremento del contenido óptimo de humedad.

#### 4.1.37. Análisis Del CBR al 95% MDS (%) y CBR al 100% MDS (%) con 3%, 5% y 7% – C-1

Los hallazgos alcanzados en las pruebas de laboratorio evidencian que la cimentación del terreno de subrasante con diferentes porcentajes de cemento (3%, 5% y 7%) produce mejoras notables en sus cualidades técnicas, en contraste con el terreno natural (0% cemento).

El parámetro más relevante, el CBR, muestra una optimización progresiva y sostenida con el aumento de cemento.



## 4.2. RESULTADOS – CALICATA Nº 02

### 4.2.1. Análisis Granulométrico por tamizado de subrasante

Los ensayos de granulometría realizados al terreno de la subrasante arrojaron los siguientes resultados:

**Tabla 24**

*Análisis Granulométrico - Tamizado de Subrasante C-2*

Nº de Malla	Tamaño de abertura (mm)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa
3"	76.2	0	0	100
2"	50.8	0	0	100
1 1/2"	38.1	0	0	100
1"	25.4	0	0	100
3/4"	19	0	0	100
3/8"	9.5	0	0	100
Nº 4	4.75	0.08	0.08	99.92
Nº 10	2	0.66	0.74	99.26
Nº 20	0.84	2.39	3.13	96.87
Nº 40	0.425	7.62	10.75	89.25
Nº 60	0.25	11.72	22.47	77.53
Nº 100	0.15	10.11	32.58	67.42
Nº 200	0.075	3.88	36.46	63.54
< Nº 200	—	63.54	100	0

*Nota.* El análisis granulométrico realizado a la muestra de la calicata – 02 revela las características del establecimiento de las partículas presentes en el terreno natural.

### 4.2.2. Análisis Granulométrico por tamizado de subrasante

El ensayo de granulometría por tamizado realizado a la porción de terreno natural de la subrasante (Calicata C-2) ha permitido obtener la distribución de tamaños de partículas presentes en el material, los cuales poseen hallazgos que se detallan en la tabla correspondiente.

#### Principales resultados observados:

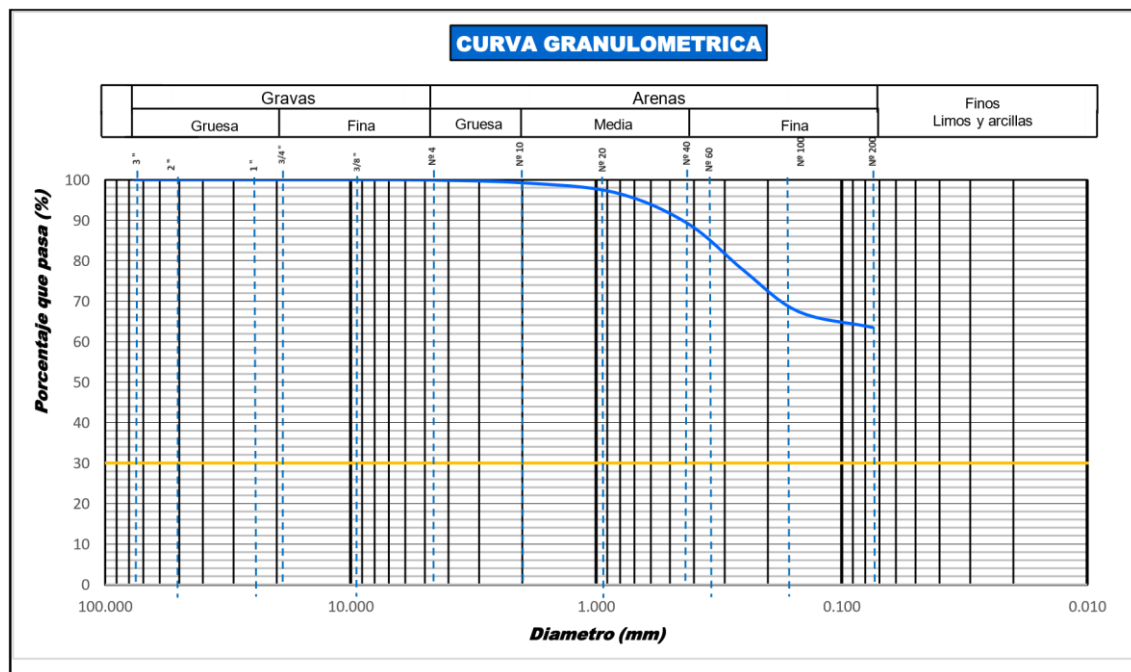
El 100 % del material pasa las mallas gruesas (mayores de N° 4), indicando que el terreno no posee grava significativa.

La fracción de arena se ubica principalmente entre las mallas N° 4 y N° 200, representando aproximadamente un 36.4 % del total del material.

El resultado de material que penetra la malla N° 200 (fino, <0.075 mm) es 63.54 %, lo que evidencia un contenido elevado de limos y arcillas.

**Figura 26**

*Curva Granulométrica del Terreno Natural C-2*



*Nota.* La curva granulométrica representa el establecimiento de partículas del terreno



## **4.2.3. Análisis de la Curva Granulométrica por tamizado de subrasante**

### **Terreno Natural**

La curva granulométrica obtenida para el terreno natural C-2 muestra una distribución mayoritaria de partículas finas, evidenciado por un porcentaje significativo que pasa la malla N° 200 (63.54%). Este comportamiento indica que el terreno está se compone de forma central por limos y arcillas, con una baja presencia de partículas gruesas y arena.

La pendiente relativamente suave en la zona de arena y la presencia reducida de grava (0.1%) sugieren que el terreno tiene una granulometría fina y homogénea, característica de terrenos con baja permeabilidad y potencial para retener humedad. Esta condición es típica de terrenos clasificados como limos inorgánicos con arcilla (ML), lo que implica propiedades mecánicas específicas como la mínima durabilidad al corte en estado natural y susceptibilidad a variaciones volumétricas cuando se expone a variaciones de humedad.

En términos prácticos, esta distribución granulométrica implica que el terreno natural C-2, en su estado original, puede presentar limitaciones para su uso directo como subrasante en vías debido a su baja amplitud portante y tendencia a deformarse bajo cargas y condiciones climáticas adversas. Por consiguiente, se sugiere la implementación de la cimentación química, a través de la incorporación de cal o cemento, con el objetivo de optimizar sus cualidades mecánicas, incrementar su permanencia y disminuir su capacidad de respuesta a la humedad.

## **4.2.4. Análisis Granulométrico del Terreno Natural – Distribución de**

### **Tamaños de Partícula**

De acuerdo con los hallazgos del examen granulométrico y elaborado a la muestra de terreno, se obtuvo la siguiente distribución de partículas:



- % de Grava: 0.1%
- % de Arena: 33.8%
- % de Finos: 13.4%

Esta estructura indica que la composición del terreno se compone primordialmente de partículas de tamaño arenal, con muy baja cantidad de grava y un porcentaje moderado de finos. La baja cantidad de grava indica que el terreno carece de partículas gruesas que aporten estructura o rigidez natural al material. Por otro lado, el porcentaje moderado de finos señala que, aunque existen partículas pequeñas, no son predominantes, lo cual puede favorecer un mejor comportamiento mecánico en términos de compactación y drenaje comparado con terrenos con contenido relevante de finos.

En consecuencia, el terreno natural con esta granulometría podría presentar condiciones favorables para su uso en subrasante, siempre y cuando se realicen los controles adecuados de humedad y compactación. La predominancia de arena contribuye a una buena amplitud de soporte, mientras que el bajo porcentaje de finos reduce la susceptibilidad a problemas relacionados con la humedad, como hinchamientos o retracciones.

#### **4.2.5. Límites de Atterberg C – 2 Terreno Natural**

Hallazgos de límites de consistencia:

Humedad Natural: 20.4%

Numero de golpes: 15, 26, 35

- LL: 33.75%
- LP: 20.33%
- IP:
- Índice de Plasticidad: 13.4%



El Límite Líquido de 33.75 % ubica al terreno dentro de la categoría de plasticidad baja a media, según los criterios del sistema SUCS.

El Índice de Plasticidad (IP = 13.4 %) confirma que el terreno posee cierta amplitud de plasticidad, atribuible principalmente a la presencia de limos y arcillas en la fracción fina.

La Humedad Natural (20.4 %) se encuentra por encima del Límite Plástico, lo que indica que en su estado natural el terreno puede comportarse en la zona de plasticidad, es decir, con mayor susceptibilidad a deformaciones bajo carga o cambios volumétricos al variar su contenido de agua.

### Tabla 25

*Límites de consistencia del terreno natural C-2*

Calicata	Límite Líquido (LL)	Límite Plástico (LP)	Índice de Plasticidad (IP = LL - LP)
C - 02	33.75	20.33	13.40

*Nota. El terreno de C-02 tiene plasticidad media y baja amplitud de soporte.*

*Requiere cimentación.*

#### 4.2.6. Clasificación del Terreno Natural

**Según AASHTO:** corresponde al grupo A-6, lo que indica un terreno de calidad regular a baja para su uso en subrasantes sin cimentación.

**Según SUCS:** se clasifica como ML, lo que sugiere sensibilidad a la humedad y limitada amplitud portante en su estado natural.



**4.2.7. Proctor Modificado – Relación Humedad–Densidad del Terreno Natural C-2**

**Tabla 26**

*Proctor modificado - terreno natural C-2*

Terreno Natural	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
	1	1.840	1.66	11.0
0%	2	1.97	1.75	13.6
	3	1.94	1.68	16.0

*Nota:* El terreno C-2 presenta un comportamiento típico de un terreno fino (ML) en el ensayo Proctor Modificado.

**4.2.8. Análisis del Proctor Modificado – Relación Humedad–Densidad del Terreno Natural C-2**

El ensayo Proctor Modificado realizado sobre el terreno natural de la calicata C-2 permite evaluar su comportamiento frente a la compactación, elemento crucial para utilizarlo como subrasante en otras construcciones reales a nivel vial.

Los resultados indican un comportamiento típico de un terreno fino de baja plasticidad (ML, según SUCS), como corresponde al terreno C-2:

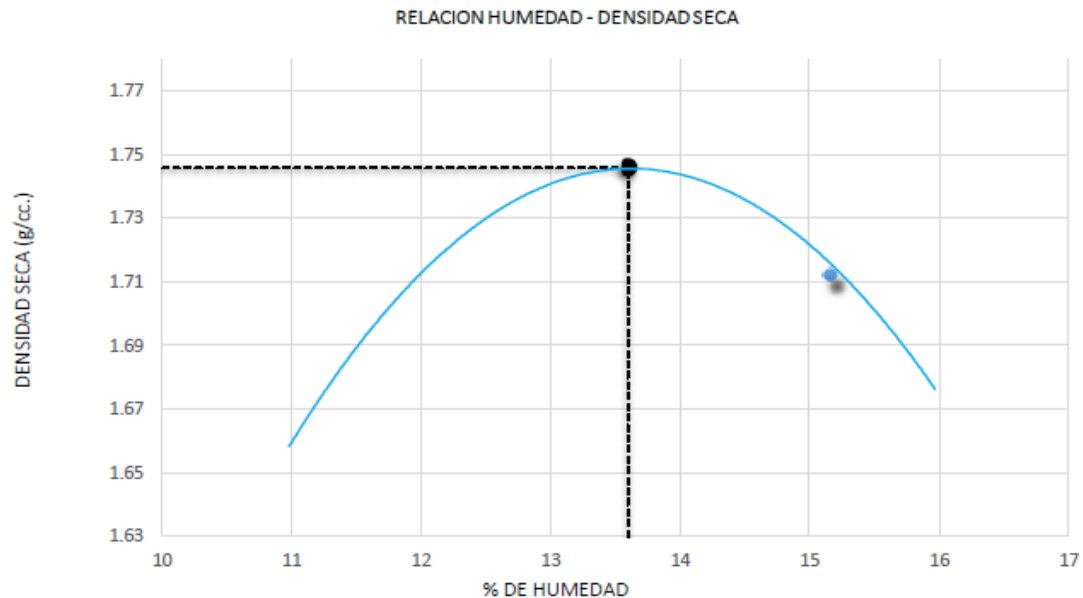
La densidad seca aumenta desde 1.66 g/cm<sup>3</sup> (a un 11.0 % de humedad) logrando un índice superior de 1.72 g/cm<sup>3</sup>, alcanzado con un contenido de humedad adecuada interpolado de 12.4 % - 13.1 %.

Al continuar incrementando la humedad hasta un 16.0 %, la densidad seca decrece nuevamente a 1.68 g/cm<sup>3</sup>. Este fenómeno es esperado, ya que la

cantidad de agua ocasiona una lubricación excesiva entre partículas, lo que reduce la eficiencia del empaquetamiento durante la compactación.

## Figura 27

*Correspondencia entre Humedad – Densidad Seca del Terreno Natural C-2*



*Nota:* el valor de 13.6% fue determinado mediante la interpolación gráfica de los datos experimentales en la curva de compactación.

La curva Humedad–Densidad Seca del ensayo muestra el comportamiento típico de un terreno de tipo fino:

Cada vez que la cantidad de humedad incrementa desde valores bajos (11.0 %) hasta aproximadamente 13.6 %, la densidad seca también aumenta, debido a que la humedad adicional facilita la reorientación y el acomodo de las partículas durante la compactación.

La curva alcanza un pico máximo de densidad seca en torno a 1.72 g/cm<sup>3</sup>, que corresponde a una cantidad de humedad óptima estimado entre 12.4 % y 13.1 %.

Este es el punto donde se logra la compactación superior posible del terreno. Al continuar aumentando la humedad (hasta 16.0 %), la densidad seca inicia su decreción. Este descenso ocurre a cuando la cantidad exagerada de agua llena



los poros del terreno, impidiendo un mayor acercamiento de las partículas sólidas. El agua adicional funciona a modo de lubricación, reduciendo la fricción respecto a las partículas y, en consecuencia, la densidad alcanzada.

### **Resultado Final:**

- Densidad Máxima: 1.75 g/cm<sup>3</sup>
- Contenido de Humedad: 13.6%

### **4.2.9. Límites de Atterberg y Clasificación – C-2 con Adición de 2% 4% y 6% de Cal**

#### **Cal 2%**

Hallazgos integrales de límites de consistencia:

Numero de golpes: 16, 24, 31

- LL: 28.81%
- LP: 17.38%
- IP: 11.4%

#### **Cal 4%**

Hallazgos integrales de límites de consistencia:

Numero de golpes: 18, 26, 33

- LL: 26.90%
- LP: 17.81%
- IP: 9.1%

#### **Cal 6%**

Hallazgos completos de límites de consistencia:

Numero de golpes: 16, 23, 29



- LL: 26.84%
- LP: 19.55%
- IP: 7.3%

Se observa una tendencia decreciente del límite líquido y el indicador de plasticidad conforme se incrementa el porcentaje de cal. Esta reducción indica una optimización en las características del terreno, ya que, al disminuir el IP, el terreno presenta menor plasticidad, favoreciendo su comportamiento como subrasante.

**Tabla 27**

*Límites de Atterberg con adición de 2%, 4% y 6% de Cal C-2*

% de Cal	Límite Líquido (LL %)	Límite Plástico (LP %)	Índice de Plasticidad (IP %)
0%	33.75	20.33	13.4
2%	28.81	17.38	11.4
4%	26.90	17.81	9.1
6%	26.84	19.55	7.3

*Nota.* La adición de cal reduce la brecha entre el líquido y el IP, optimizando la estabilidad del terreno

#### 4.2.10. Clasificación del Terreno – Calicata N° 02 Con % de Cal

**Según AASHTO:** El terreno natural es grupo A-6 (arcilla de baja plasticidad). Con la adición de cal, la optimización de A-4(1) y A-4(0), indicando menor plasticidad y mejor comportamiento para subrasante.

**Según SUCS:** El terreno natural corresponde a CL. Con cal, cambia a ML, reflejando reducción en plasticidad y mejor estabilidad.



No obstante, tras el aumento de cal, la clasificación se optimiza notablemente: el terreno pasa a A-4(1) y A-4(0) en AASHTO y a ML en SUCS, evidenciando una reducción relevante en la plasticidad y una optimización en la estabilidad volumétrica.

#### 4.2.11. Densidad seca máxima con Adición de 2% de Cal - Calicata N° 02

Tabla 28

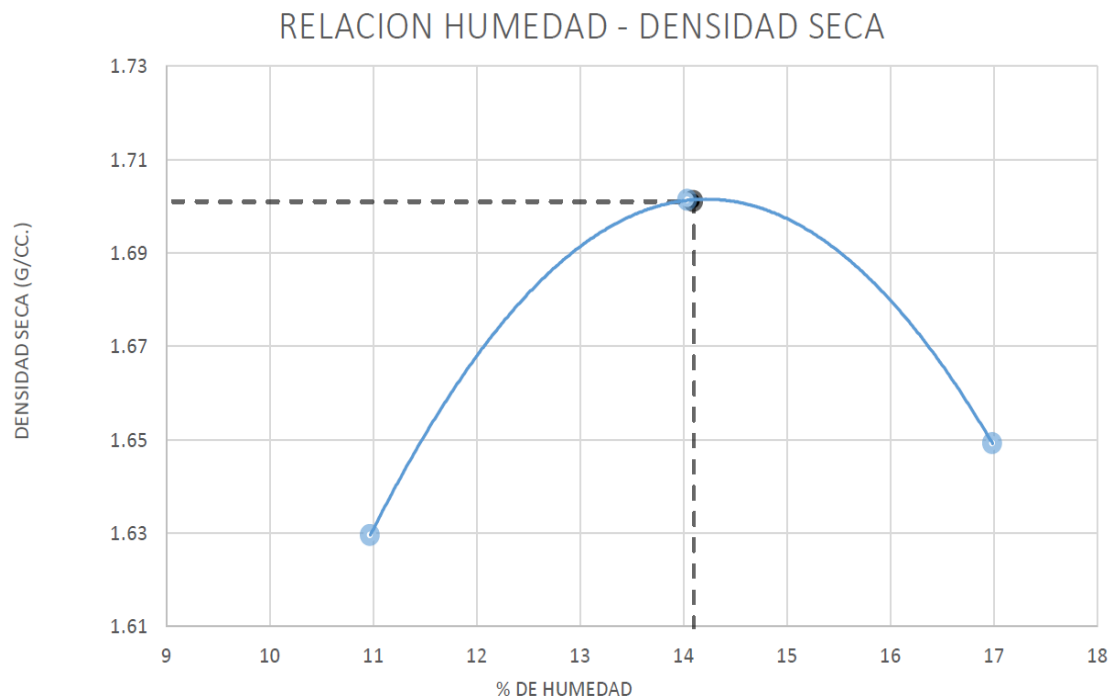
*Proctor Modificado con adición de 2% de Cal C-2*

% de Cal	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
2%	1	1.808	1.63	11.0
	2	1.94	1.70	14.1
	3	1.93	1.65	17.0

*Nota:* Se evaluaron las características mecánicas del terreno estabilizado con 2% de cal mediante tres determinaciones.

**Figura 28**

Correspondencia entre Humedad – Densidad Seca con 2% de Cal C-2



*Nota.* El 14.10% evidencia que es la condición ideal para maximizar la densidad y optimización de la estabilidad del terreno estabilizado con cal.

#### 4.2.12. Análisis del Proctor Modificado con adición de 2% de Cal

La densidad seca oscila entre 1.63 y 1.70 g/cm<sup>3</sup>, mostrando una buena compactación del terreno estabilizado con cal.

#### Resultado Final:

- Densidad Máxima: 1.70 g/cm<sup>3</sup>
- Contenido de Humedad: 14.10%

Estos valores sugieren que el terreno estabilizado tiene un comportamiento mecánico respecto al terreno natural, lo que permite alcanzar mayores grados de compactación con menores riesgos de saturación o deformación, exhibiendo cumplimiento con los criterios técnicos establecidos para su uso como subrasante conforme a las recomendaciones de AASHTO e INVIAS.

### 4.2.13. Densidad seca máxima con 4% de Cal - Calicata N° 02

**Tabla 29**

*Proctor Modificado con adición de 4% de Cal C-2*

% de Cal	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
4%	1	1.814	1.61	12.9
	2	1.93	1.67	15.8
	3	1.90	1.60	19.0

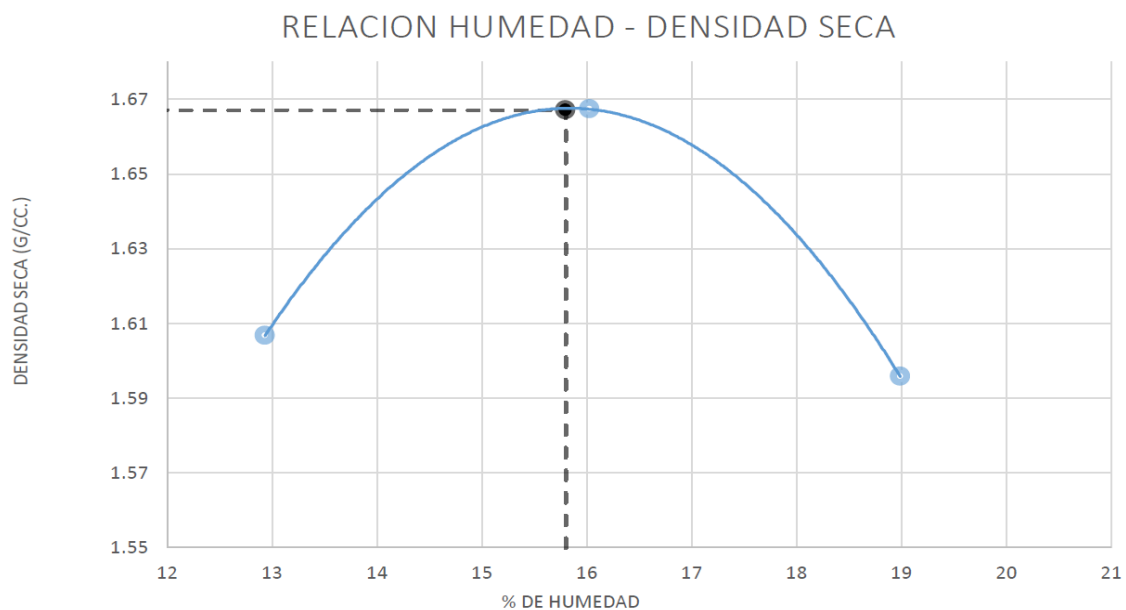
*Nota.* Se evaluaron las características mecánicas del terreno estabilizado con 4% de cal mediante tres determinaciones.

La cal optimización terrenos finos al reducir plasticidad, aumentar la durabilidad y facilitar la compactación. Reacciona con las arcillas, cambiando su estructura.

El terreno tratado puede tener mayor densidad seca y mejor comportamiento como subrasante.

**Figura 29**

*Correspondencia entre Humedad – Densidad Seca con 4% de Cal C-2*



*Nota.* El 15.80% evidenció que es la condición ideal para maximizar la densidad y optimización de la estabilidad del terreno estabilizado con cal.

#### 4.2.14. Análisis del Proctor Modificado con adición de 4% de Cal

La densidad húmeda oscila ligeramente entre 1.81 y 1.93 g/cm<sup>3</sup>, mostrando buena consistencia en la compactación del terreno con 4% de cal.

#### Resultado Final:

- Densidad Máxima: 1.67 g/cm<sup>3</sup>
- Contenido de Humedad: 15.80%

La adición del 4% de cal mejoró los caracteres de endurecimiento del terreno, logrando una densidad superior seca de 1.67 g/cm<sup>3</sup> y una optimización de humedad de 15.80%. Esto indica que el terreno responde bien al estabilizante, mostrando mejor trabajabilidad y mayor amplitud de soporte, lo cual es favorable para su uso como subrasante en pavimentos.

#### 4.2.15. Densidad seca máxima con 6% de Cal - Calicata N° 02

#### Tabla 30

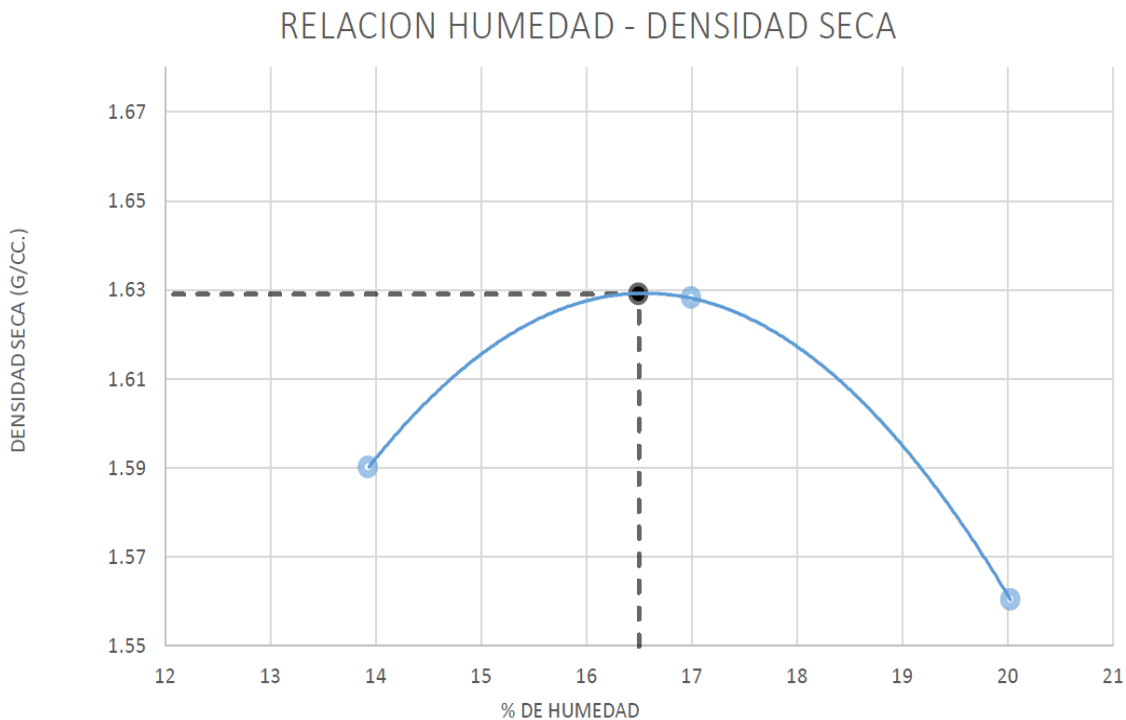
*Proctor Modificado con adición de 6% de Cal C-2*

% de Cal	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
6%	1	1.812	1.59	13.9
	2	1.90	1.63	16.5
	3	1.87	1.56	20.

*Nota.* Se evaluaron las características mecánicas del terreno estabilizado con 6% de cal mediante tres determinaciones.

**Figura 30**

Correspondencia entre Humedad – Densidad Seca con 6% de Cal C-2



*Nota.* El 16.50% se obtuvo a partir del análisis gráfico de los resultados del ensayo.

#### 4.2.16. Análisis del Proctor Modificado con adición de 6% de Cal

La densidad húmeda muestra valores consistentes, entre 1.81 y 1.90 g/cm<sup>3</sup>, lo que sugiere que la mezcla con 6% de cal mantiene buena uniformidad en la compactación.

La densidad seca oscila de 1.56 a 1.63 g/cm<sup>3</sup>, evidenciando una ligera reducción en la tercera determinación.

La humedad aumenta progresivamente de 13.9% a 20.0%. Este comportamiento es esperable, ya que, a mayor porcentaje de cal.

#### Resultado Final:

- Densidad Máxima: 1.63 g/cm<sup>3</sup>
- Contenido de Humedad: 16.50%



**4.2.17. Proctor Modificado con Porcentajes de 2%, 4%, 6% de Cal**

**Tabla 31**

*Proctor modificado con adición de 2%, 4% y 6% de Cal C-2*

% de Cal	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
2%	1	1.808	1.63	11
	2	1.94	<b>1.7</b>	<b>14.1</b>
	3	1.93	1.65	17
4%	1	1.814	1.61	12.9
	2	1.93	<b>1.67</b>	<b>15.8</b>
	3	1.9	1.6	19
6%	1	1.812	1.59	13.9
	2	1.9	<b>1.63</b>	<b>16.5</b>
	3	1.87	1.56	20

*Nota.* En negrita se resaltan los indicadores de densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo obtenidos para cada porcentaje de cal.

**4.2.18. Análisis de Proctor Modificado con 2%, 4% y 6% de Cal**

**Densidad Húmeda:** Los valores de densidad húmeda se mantienen relativamente estables entre 1.81 y 1.94 g/cm<sup>3</sup> para todos los porcentajes de cal.

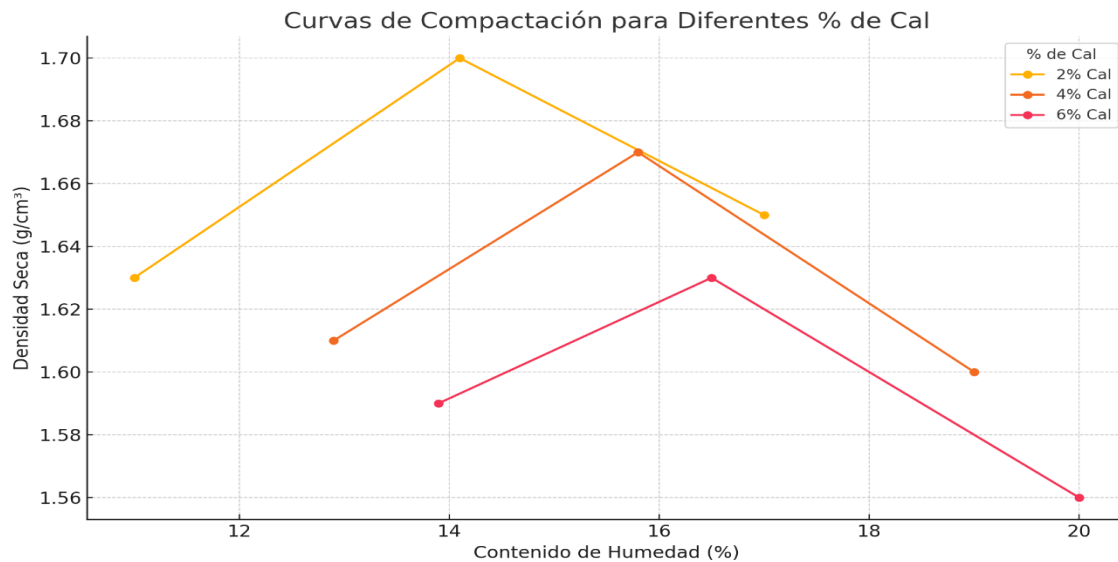
**Densidad Seca:** Se observa que la densidad seca máxima tiende a presentarse en la segunda determinación para cada porcentaje de cal (1.70 g/cm<sup>3</sup> con 2% de cal, 1.67 g/cm<sup>3</sup> con 4% de cal, 1.63 g/cm<sup>3</sup> con 6% de cal). Sin embargo, a medida que se incrementa el contenido de cal, la densidad seca promedio disminuye ligeramente.

**Contenido de Humedad:** Existe un incremento progresivo en el contenido de humedad a medida que se aumenta el porcentaje de cal. Para el 2% de cal varía de 11.0% a 17.0%, para el 4% de cal de 12.9% a 19.0% y para el 6% de

cal de 13.9% a 20.0%. Este comportamiento se explica por la mayor demanda de agua generada por las reacciones químicas.

### Figura 31

#### Densidad Seca – Contenido de Humedad con % de Cal C-2



*Nota:* El gráfico muestra cómo varía la densidad seca en función del contenido de humedad para cada porcentaje de Cal

#### 4.2.19. Análisis de la Curva del Proctor Modificado con Porcentajes de Cal

Las tres curvas (para 2%, 4%, y 6% de cal) presentan la típica forma parabólica característica de los ensayos Proctor, en los que:

A medida que aumenta el contenido de humedad, la densidad seca aumenta hasta un máximo (óptimo), y luego disminuye.

Esto ocurre porque cierta cantidad de agua ayuda a lubricar las partículas del terreno, facilitando su compactación. Pero cuando hay demasiada agua, el exceso ocupa espacio y reduce la densidad.

#### Comparación entre los diferentes % de cal



**Con 2% de cal:** Se obtiene una densidad seca máxima aproximada entre 1.65 y 1.70 g/cm<sup>3</sup>.

El contenido de humedad óptimo parece estar entre 14% y 17%.

**Con 4% de cal:** Se alcanza una densidad seca máxima similar, alrededor de 1.67 g/cm<sup>3</sup>.

El contenido de humedad óptimo también está entre 15% y 16%.

**Con 6% de cal:** La densidad seca máxima es algo menor, alrededor de 1.63 g/cm<sup>3</sup>.

El contenido de humedad óptimo se desplaza un poco hacia valores más altos (16% a 17%).

### **Tendencias generales**

Mayor % de cal → menor densidad seca máxima.

Al incrementar la cantidad de cal: Ocurre una floculación y aglomeración de partículas finas.

Se reduce la amplitud de alcanzar una compactación tan densa como en los terrenos con menor cal.

Mayor % de cal → mayor contenido de humedad óptimo.

El terreno tratado con más cal requiere más agua para lograr una buena compactación.

#### 4.2.20. Cuadro Comparativo – Ensayo Proctor Modificado con Adición de 2%, 4%, 6% de Cal

Tabla 32

*Cuadro comparativo de Proctor modificado con % de Cal C-2*

% Cal	Densidad Seca Máxima (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad Óptima (%)
2%	1.70	14.1
4%	1.67	15.8
6%	1.63	16.5

*Nota.* Se observa que al incrementar el porcentaje de cal del 2% al 6%, la densidad seca máxima disminuye ligeramente, mientras que la humedad óptima aumenta.

#### 4.2.21. Análisis Comparativo – Ensayo Proctor Modificado con Adición de 2%, 4%, 6% de Cal

La tabla muestra cómo varía la densidad seca máxima y la humedad óptima del terreno al adicionar 2%, 4% y 6% de cal:

Al aumentar el contenido de cal, la densidad seca máxima disminuye ligeramente:

De 1.70 g/cm<sup>3</sup> con 2% de cal a 1.63 g/cm<sup>3</sup> con 6% de cal.

Esto se debe a que la adición de cal provoca floculación de partículas finas y genera una estructura más abierta, que impide lograr la misma compactación que el terreno sin o con poca cal.

#### Tendencia de la humedad óptima

La humedad óptima aumenta al incrementar el contenido de cal:

De 14.1% con 2% de cal a 16.5% con 6% de cal.

El aumento de humedad requerida se explica porque la cal reacciona con el agua durante la cimentación, y además el terreno tratado con cal necesita más agua para lubricar las partículas floculadas y permitir una adecuada compactación.

#### 4.2.22. CBR al 95% MDS (%) y CBR al 100% MDS (%) con Adición de 2% 4% y 6% de Cal – C-2

Tabla 33

*CBR al 95% y 100% MDS con 2%, 4% y 6% de Cal C-2.*

% De Cal	Máxima Densidad Seca	Máxima Densidad Seca al 95%	Optimo Contenido de Humedad	CBR (95% M.D.S) 0.1"	CBR (100% M.D.S) 0.1"
0%	1.75	1.66	13.6	8.4%	5.0%
2%	1.70	1.62	14.1	9.5%	6.4%
4%	1.67	1.58	15.8	11.0%	9.2%
6%	1.63	1.55	16.5	12.9%	10.7%

*Nota.* La adición de cal al terreno de subrasante genera una leve disminución de la densidad máxima seca y un aumento del contenido óptimo de humedad.

#### 4.2.23. Análisis Del CBR al 95% MDS (%) y CBR al 100% MDS (%) con 2%, 4%, 6% de Cal – C-2

En la Tabla se presentan los resultados obtenidos del ensayo CBR realizado a la muestra de terreno de la calicata C-2, con diferentes porcentajes de adición de cal (2%, 4%, y 6%), tanto al 95% de la Máxima Densidad Seca (MDS) como al 100% de la MDS.



Se observa una tendencia creciente en los valores de CBR a medida que se incrementa el porcentaje de cal en la mezcla. Este comportamiento es esperable debido a los procesos de floculación y aglomeración que ocurren durante la cimentación con cal, que modifican la estructura del terreno y optimizaci3nn su durabilidad mecánica.

En el estado natural (0% cal), el CBR al 95% de la MDS fue de 8.4%, mientras que al 100% de la MDS fue de 5.0%.

Con la adici3n de 2% de cal, el CBR al 95% aument3 a 9.5% y al 100% a 6.4%.

Al incrementar la adici3n a 4% de cal, se logr3 un CBR al 95% de 11.0% y al 100% de 9.2%.

Finalmente, con 6% de cal, el CBR alcanz3 valores de 12.9% al 95% de la MDS y 10.7% al 100%.

Este comportamiento confirma que la adici3n de cal optimizaci3n progresivamente la amplitud de soporte del terreno. Adem3s, se aprecia que los valores de CBR son sistem3ticamente mayores al 95% de la MDS que al 100%, lo cual es un fen3meno com3n en terrenos estabilizados. A mayor compactaci3n (100% MDS), se reduce la amplitud de absorci3n y expansi3n de la cal en los poros del terreno, limitando ligeramente el efecto de cimentaci3n en comparaci3n con el 95% MDS.

Por otro lado, es importante destacar que a medida que aumenta el contenido de cal, el 3ptimo Contenido de Humedad (OCH) tambi3n incrementa (de 13.6% a 16.5%), lo cual es consistente con la amplitud de la cal de atraer agua debido a su naturaleza qu3mica.



## 4.2.24. Límites de Atterberg y Clasificación con 3%, 5% y 7% de Cemento

### Cemento 3%

Resultados detallados de límites de consistencia:

Numero de golpes: 17, 25, 31

- LL: 28.65%
- LP: 17.87%
- IP: 10.8%

### Cemento 5%

Resultados detallados de límites de consistencia:

Numero de golpes: 16, 26, 32

- LL: 28.32%
- LP: 19.52%
- IP: 8.8%

### Cemento 7%

Resultados detallados de límites de consistencia:

Numero de golpes: 18, 26, 34

- LL: 25.09%
- LP: 17.86%
- IP: 7.2%

Se evaluaron los límites de consistencia del terreno.



Tabla 34

Límites de Atterberg con 3%, 5% y 7% de Cemento C-2

% de Cemento	Límite Líquido (LL %)	Límite Plástico (LP %)	Índice de Plasticidad (IP %)
0%	33.75	20.33	13.4
3%	28.65	17.87	10.8
5%	28.32	19.52	8.8
7%	25.09	17.86	7.2

Nota: La adición de cemento al terreno redujo progresivamente su índice de plasticidad de 13.4 % (natural) a 7.2 % (7 % cemento)

#### 4.2.25. Análisis de Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad con Adición de 2% 4% y 6% de Cemento – C-2

Los resultados muestran que la adición de cemento genera un cambio significativo en el comportamiento plástico del terreno:

**El Límite Líquido (LL)** disminuye de 33.75% en el terreno natural a 25.09% con 7% de cemento. Esta reducción indica que el terreno estabilizado necesita menos contenido de agua para alcanzar el estado líquido, reflejando una disminución en la actividad de las partículas finas y una modificación de la estructura del terreno.

**El Límite Plástico (LP)** presenta una ligera variación, disminuyendo inicialmente con 3% de cemento, aumentando a 5%, y reduciéndose nuevamente a 7%. Sin embargo, el comportamiento general sugiere una



tendencia hacia menores valores, asociada al proceso de cementación y endurecimiento de la matriz del terreno.

**El Índice de Plasticidad (IP)**, que es un parámetro clave para evaluar la plasticidad global del terreno, muestra una disminución sostenida desde 13.4% en el terreno natural a 7.2% con 7% de cemento, es decir, una reducción del 46% aproximadamente. Esta tendencia confirma la efectividad del cemento en reducir la plasticidad, optimizándose así la estabilidad volumétrica y la durabilidad del terreno.

- Reduce el potencial de expansión-retracción.
- Optimización la cohesión interna del material.

#### **Clasificación y comportamiento esperado:**

Con la reducción del Índice de Plasticidad, el terreno estabilizado tiende a clasificarse dentro de grupos de menor plasticidad (por ejemplo, dentro del sistema SUCS, podría pasar de un CL con plasticidad media a un CL-ML o incluso a un material de baja plasticidad dependiendo de los valores finales). Este comportamiento es deseable para su uso como subrasante, ya que los terrenos menos plásticos presentan:

- Menor sensibilidad a la humedad.
- Mayor durabilidad al tráfico repetitivo.
- Menor riesgo de deformaciones y agrietamientos en el pavimento.

#### **4.2.26. Clasificación del Terreno – Calicata N° 02 Con % de Cemento**

- 0% cemento: SUCS = CL, AASHTO = A-6
- 3% cemento: SUCS = CL, AASHTO = A-6
- 5% cemento: SUCS = CL, AASHTO = A-4/A-6
- 7% cemento: SUCS = CL, AASHTO = A-4

**4.2.27. Densidad seca máxima con Adición de 3% de Cemento -**

**Calicata N° 02**

**Tabla 35**

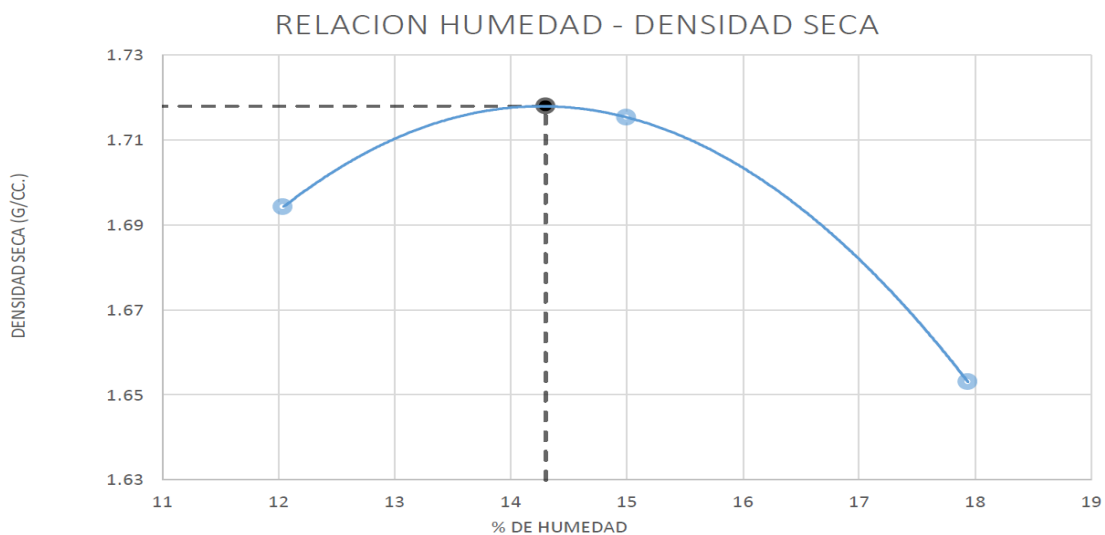
*Proctor modificado con adición de 3% de Cemento C-2*

% de Cemento	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
3%	1	1.898	1.69	12.0
	2	1.97	1.72	14.3
	3	1.95	1.65	17.9

*Nota:* Se evaluaron las propiedades físicas del terreno estabilizado con 3% de cal mediante tres determinaciones.

**Figura 32**

*Relación Humedad – Densidad Seca con 3% de Cemento C-2*



*Nota.* El 14.30% se obtuvo a partir del análisis gráfico de los resultados del ensayo Proctor modificado, evidenciando que es la condición ideal para



maximizar la densidad y optimizaciónr la estabilidad del terreno estabilizado con cal.

#### **4.2.28. Análisis del Proctor Modificado con adición de 3% de Cemento**

El ensayo Proctor modificado determinó que el terreno estabilizado con 3% de cemento alcanza una densidad seca máxima de  $1.72 \text{ g/cm}^3$  a un contenido óptimo de humedad del 14.30%. Este valor representa el porcentaje de humedad con el cual el terreno logra su máxima compactación, optimizando así sus propiedades mecánicas para su uso en subrasante.

#### **Justificación:**

El contenido óptimo de humedad es fundamental para garantizar una correcta compactación del terreno, ya que una humedad menor o mayor a este valor reduce la densidad seca alcanzable y, por tanto, la durabilidad del material. En este estudio, el 14.30% se obtuvo a partir del análisis gráfico de los resultados del ensayo Proctor modificado

#### **Resultado Final:**

- Densidad Máxima:  $1.72 \text{ g/cm}^3$
- Contenido de Humedad: 14.30%

#### **4.2.29. Densidad seca máxima con Adición de 5% de Cemento - Calicata N° 02**

Tabla 36

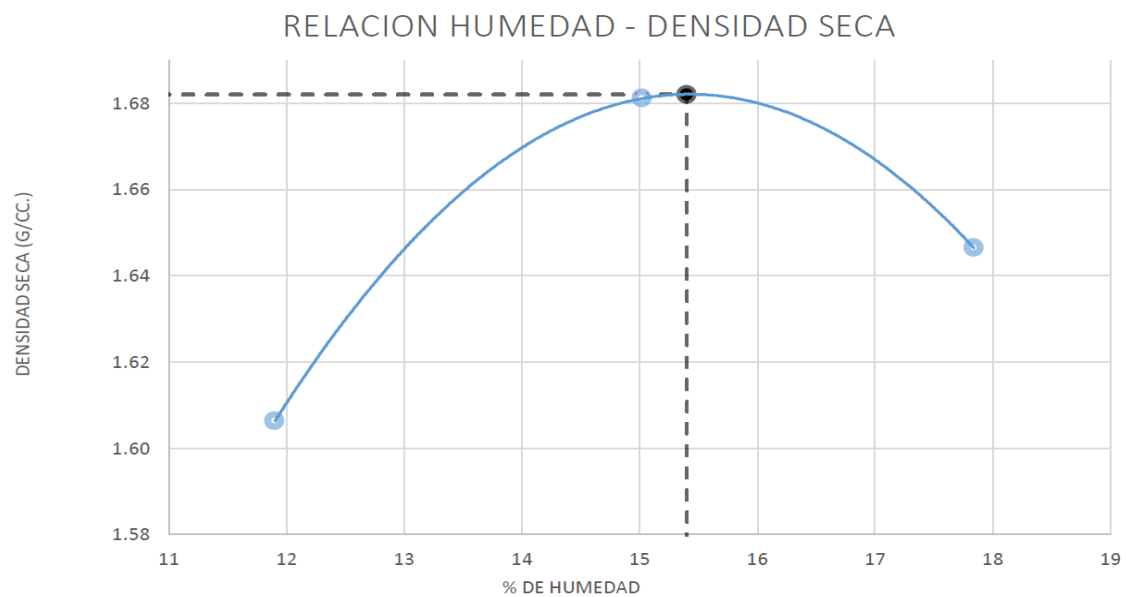
Proctor modificado con adición de 5% de Cemento C-2

% de Cemento	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
5%	1	1.797	1.61	11.9
	2	1.93	1.68	15.4
	3	1.94	1.65	17.8

Nota. Se evaluaron las propiedades físicas del terreno estabilizado con 5% de cemento mediante tres determinaciones.

Figura 33

Relación Humedad – Densidad Seca con 5% de Cemento C-2



Nota. El 15.40% se obtuvo a partir del análisis gráfico de los resultados Análisis del Proctor Modificado con adición de 5% de Cemento

La densidad seca máxima obtenida es aproximadamente 1.68 g/cm<sup>3</sup>, alcanzada con un contenido de humedad de 15.4 %

A medida que el contenido de humedad aumenta (de 11.9% a 17.8%), la densidad seca primero aumenta y luego disminuye ligeramente.



Esto es típico de un ensayo Proctor: la densidad seca aumenta con la humedad hasta un punto óptimo y luego cae cuando el terreno está demasiado húmedo.

### **Densidad seca máxima:**

- Determinación 1: 1.61 g/cm<sup>3</sup>
- Determinación 2: 1.68 g/cm<sup>3</sup> → mayor densidad seca
- Determinación 3: 1.65 g/cm<sup>3</sup>

Por lo tanto, densidad seca máxima  $\approx 1.68$  g/cm<sup>3</sup>, que ocurre a una humedad de aproximadamente 15.4%.

### **Humedad óptima:**

- La humedad donde se obtiene la densidad seca máxima:  $\approx 15.4\%$ .

### **Conclusión:**

El terreno con 5% de cemento presenta una densidad seca máxima de  $\approx 1.68$  g/cm<sup>3</sup> a una humedad óptima  $\approx 15.4\%$ .

El comportamiento es típico de un terreno estabilizado: al aumentar la humedad, la densidad optimización hasta un punto óptimo, luego disminuye.

### **Resultado Final:**

- Densidad Máxima: 1.68 g/cm<sup>3</sup>
- Contenido de Humedad: 15.4%

## 4.2.30. Densidad seca máxima con Adición de 7% de Cemento -

### Calicata N° 02

**Tabla 37**

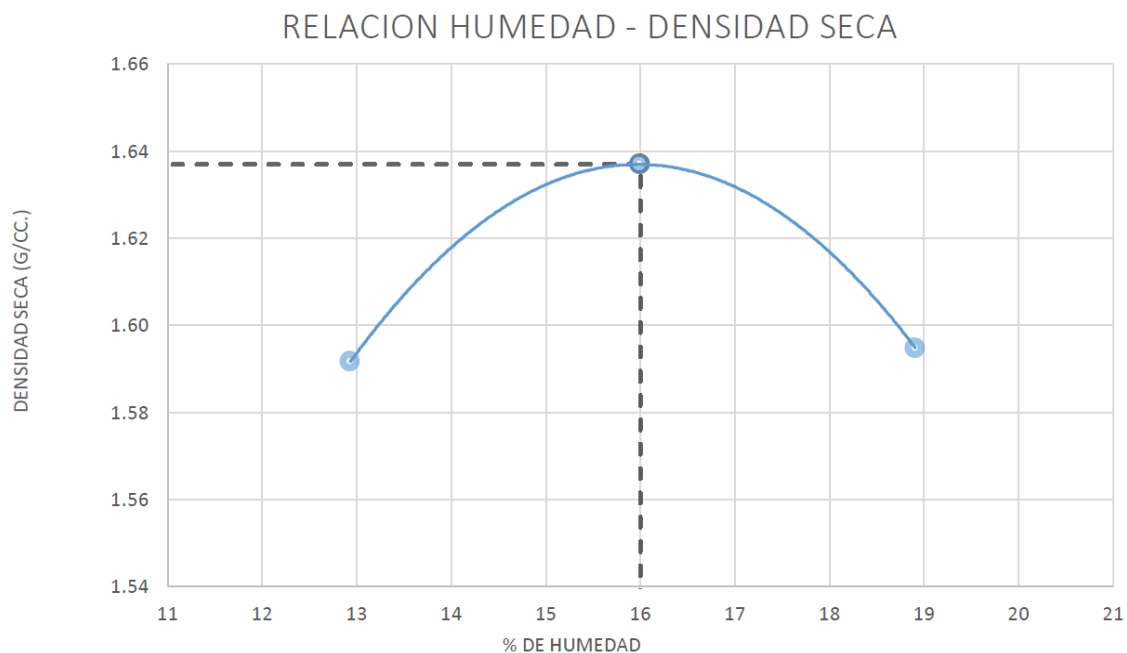
*Proctor modificado con adición de 7% de Cemento C-2*

% de Cemento	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
7%	1	1.797	1.59	12.9
	2	1.90	1.64	16.0
	3	1.90	1.59	18.9

*Nota.* Se evaluaron las propiedades físicas del terreno estabilizado con 7% de cemento mediante tres determinaciones.

**Figura 34**

*Relación Humedad – Densidad Seca con 7% de Cemento C-2*



*Nota:* El 16.0% se obtuvo a partir del análisis gráfico de los resultados del ensayo Proctor modificado.



## 4.2.31. Análisis del Proctor Modificado con adición de 7% de Cemento

A medida que aumenta la humedad:

La densidad seca aumenta de 1.59 → 1.64 g/cm<sup>3</sup> (de 12.9% a 16.0% humedad).

Luego vuelve a disminuir a 1.59 g/cm<sup>3</sup> cuando la humedad sube a 18.9%.

Este comportamiento corresponde a la curva típica del Proctor modificado, donde hay un punto de humedad óptima.

### Densidad seca máxima:

La mayor densidad seca obtenida es 1.64 g/cm<sup>3</sup>, que ocurre a 16.0% de humedad.

### Humedad óptima:

La humedad donde se logra la densidad seca máxima es aproximadamente 16.0%.

### Comparación con 5% de cemento:

Con 7% de cemento la densidad seca máxima es un poco menor (1.64 g/cm<sup>3</sup>) comparada con la de 5% de cemento (1.68 g/cm<sup>3</sup>).

La humedad óptima sube ligeramente (de 15.4% a 16.0%).

Este comportamiento es normal, ya que al agregar más cemento puede aumentar la demanda de agua, pero también puede incrementar la rigidez del terreno, limitando la compactación.

### Conclusión:

El terreno estabilizado con 7% de cemento muestra una densidad seca máxima de  $\approx 1.64$  g/cm<sup>3</sup> a una humedad óptima de  $\approx 16.0\%$ .

Al igual que en el caso de 5%, la curva sigue el patrón esperado: la densidad seca sube con la humedad hasta un punto y luego disminuye.



El ligero descenso de la densidad máxima con 7% de cemento puede deberse al aumento de la rigidez del terreno estabilizado.

**Resultado Final:**

- Densidad Máxima: 1.64 g/cm<sup>3</sup>
- Contenido de Humedad: 16.0%

**4.2.32. Proctor Modificado con Porcentajes de 3%, 5%, 7% de Cemento – C-2**

**Tabla 38**

*Proctor modificado con 3%, 5% y 7% de Cemento C-2*

% de Cemento	Determinación N°	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
3%	1	1.898	1.69	12
	2	1.97	<b>1.72</b>	<b>14.3</b>
	3	1.95	1.65	17.9
5%	1	1.797	1.61	11.9
	2	1.93	<b>1.68</b>	<b>15.4</b>
	3	1.94	1.65	17.8
7%	1	1.797	1.59	12.9
	2	1.9	<b>1.64</b>	<b>16</b>
	3	1.9	1.59	18.9

*Nota.* En negrita se resaltan los valores de densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo obtenidos para cada porcentaje de cal.



## 4.2.33. Análisis de Proctor Modificado con Porcentajes de 3%, 5% y

### 7% de cemento

#### Densidad Húmeda (g/cm<sup>3</sup>)

Para el 3%, los valores varían entre 1.898 y 1.97 g/cm<sup>3</sup>.

Para el 5%, la densidad húmeda es ligeramente menor en la primera determinación (1.797 g/cm<sup>3</sup>) pero alcanza hasta 1.94 g/cm<sup>3</sup>.

Para el 7%, también inicia bajo (1.797 g/cm<sup>3</sup>) y llega a 1.9 g/cm<sup>3</sup>.

#### Tendencia:

La densidad húmeda varía entre las determinaciones, pero no muestra un incremento claro y consistente con el aumento del cemento. Los valores iniciales en 5% y 7% son similares y un poco más bajos que en 3%, lo que podría indicar variaciones en compactación o humedad.

#### Densidad Seca (g/cm<sup>3</sup>)

- En 3%, la densidad seca oscila entre 1.65 y 1.72 g/cm<sup>3</sup>.
- En 5%, entre 1.61 y 1.68 g/cm<sup>3</sup>.
- En 7%, entre 1.59 y 1.64 g/cm<sup>3</sup>.

#### Tendencia:

Se observa una ligera disminución en la densidad seca conforme aumenta el porcentaje de cemento, especialmente en las determinaciones 1 y 3. Esto podría sugerir que el terreno con mayor cemento tiene mayor volumen o menor compactación efectiva, o más contenido de aire.

#### Contenido de Humedad (%)

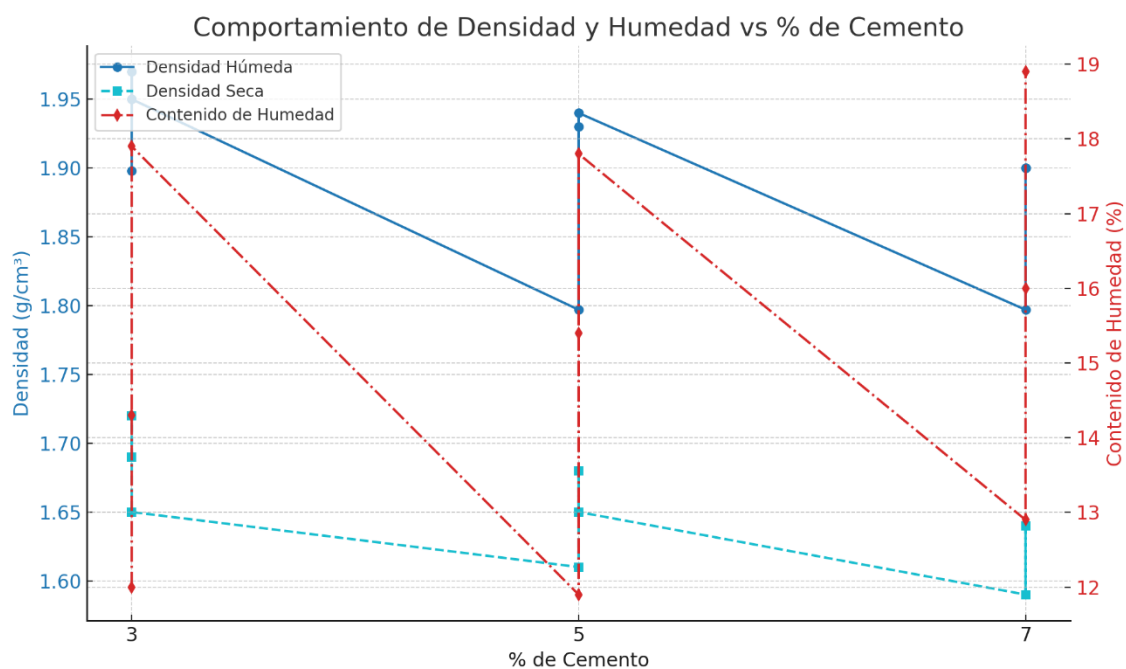
- En 3%, va de 12 a 17.9%.
- En 5%, de 11.9 a 17.8%.
- En 7%, de 12.9 a 18.9%.

## Tendencia:

El contenido de humedad aumenta en las determinaciones 2 y 3 para todos los porcentajes, con valores máximos alrededor de 17.8-18.9%. No hay una relación clara del contenido de humedad con el porcentaje de cemento; parece depender más de las condiciones de la muestra o compactación.

## Figura 35

*Densidad Seca y Humedad Optima con % de Cemento C-2*



*Nota.* El gráfico muestra cómo varía la densidad seca en función del contenido de humedad para cada porcentaje de Cemento

### 4.2.34. Análisis de la Curva del Proctor Modificado con Porcentajes de 3%, 5% y 7% de Cemento

La densidad húmeda se mantiene relativamente alta para el 3% de cemento ( $\approx 1.95 \text{ g/cm}^3$ ).

Al 5% de cemento, la densidad baja ligeramente en la primera determinación, pero en general sigue en valores similares a los de 3%.



Al 7% de cemento, hay una pequeña disminución en las densidades húmedas, observándose valores más bajos que en 3% y 5%.

### **Interpretación:**

El aumento del contenido de cemento parece generar una ligera pérdida de densidad húmeda. Esto puede deberse a que la adición de más cemento produce una estructura de mezcla más rígida y con menor compactación efectiva, o a que el cemento introduce aire al sistema durante la compactación.

### **Densidad Seca vs % de Cemento**

Para el 3%, la densidad seca es la más alta ( $\approx 1.72 \text{ g/cm}^3$ ).

A medida que se incrementa el cemento (5% y 7%), la densidad seca va disminuyendo ligeramente.

En 7% se observa el valor más bajo de densidad seca ( $\approx 1.59 \text{ g/cm}^3$ ).

### **Interpretación:**

El aumento del cemento reduce la densidad seca. Esto podría deberse a varios factores:

El cemento reacciona con el agua y forma productos de hidratación que generan una estructura más porosa.

Puede aumentar el volumen total de la mezcla sin aportar una masa sólida significativa.

También podría deberse a una dificultad mayor en lograr la máxima compactación a mayores contenidos de cemento.

### **Contenido de Humedad vs % de Cemento**

El contenido de humedad tiende a incrementarse conforme se aumenta el % de cemento.

En 3% las humedades varían entre 12% y 17.9%.



En 5% y 7% de cemento, las humedades máximas tienden a ser más altas (hasta 18.9%).

**Interpretación:**

El cemento requiere agua para la reacción de hidratación, por lo que es esperable que, a mayor contenido de cemento, la mezcla requiera más humedad. Además:

El terreno estabilizado con cemento tiene una demanda de agua mayor para lograr la trabajabilidad y la adecuada reacción química.

**4.2.35. Cuadro Comparativo – Ensayo Proctor Modificado con Adición de 3%, 5%, 7% de Cemento**

**Tabla 39**

*Comparativo de Proctor modificado con % de Cemento C-2*

<b>% Cemento</b>	<b>Densidad Seca Máxima (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Humedad Óptima (%)</b>
3%	1.69	14.73
5%	1.65	15.03
7%	1.61	15.93

*Nota:* Al aumentar el contenido de cemento, la densidad seca y húmeda disminuyen ligeramente, mientras que el contenido de humedad tiende a incrementarse.

**4.2.36. Análisis Comparativo – Ensayo Proctor Modificado con Adición de 3%, 5% y 7% de Cemento**

Se observa que al incrementar el contenido de cemento en la mezcla:



La densidad seca máxima disminuye de manera progresiva, pasando de 1.69 g/cm<sup>3</sup> al 3%, a 1.65 g/cm<sup>3</sup> al 5%, y finalmente a 1.61 g/cm<sup>3</sup> al 7%. Este comportamiento es típico en terrenos estabilizados con cemento, ya que la adición de cemento genera productos de hidratación que ocupan mayor volumen y reducen la compactación efectiva del terreno.

La humedad óptima aumenta de 14.73% a 15.93% conforme se incrementa el cemento.

Este aumento refleja la necesidad de mayor cantidad de agua.

#### 4.2.37. CBR al 95% MDS (%) y CBR al 100% MDS (%) con Adición de 3%, 5% y 7% de Cemento

**Tabla 40**

*CBR al 95% y 100% MDS con 3%, 5% y 7% de Cemento C-2*

% De Cemento	Máxima Densidad Seca	Máxima Densidad Seca al 95%	Optimo Contenido de Humedad	CBR (95% M.D.S) 0.1"	CBR (100% M.D.S) 0.1"
0%	1.75	1.66	13.6	8.4%	5.0%
3%	1.72	1.63	14.3	9.9%	7.3%
5%	1.68	1.60	15.4	11.2%	8.7%
7%	1.64	1.56	16.0	13.3%	10.8%

*Nota:* La adición de cal al terreno de subrasante genera una leve disminución de la densidad máxima seca y un aumento del contenido óptimo de humedad.

#### 4.2.38. Análisis Del CBR al 95% MDS (%) y CBR al 100% MDS (%) con 3%, 5% y 7% de Cemento

Los resultados obtenidos muestran la evolución de la máxima densidad seca, el óptimo contenido de humedad y la durabilidad CBR a diferentes



porcentajes de cemento (0%, 3%, 5% y 7%), tanto al 95% como al 100% de la densidad seca máxima.

### **Densidad seca máxima y humedad óptima:**

A medida que aumenta el contenido de cemento, la máxima densidad seca disminuye gradualmente, pasando de 1.75 g/cm<sup>3</sup> sin cemento a 1.64 g/cm<sup>3</sup> al 7% de cemento.

Paralelamente, la humedad óptima aumenta, de 13.6% (sin cemento) a 16.0% con 7% de cemento.

### **Interpretación:**

Este comportamiento es característico en mezclas estabilizadas con cemento. La disminución de la densidad seca se debe a la formación de productos de hidratación que ocupan más volumen y generan una estructura más porosa. El aumento de humedad óptima refleja la mayor demanda de agua para permitir la hidratación del cemento y optimizar la trabajabilidad de la mezcla.

### **CBR a 0.1" de penetración:**

El valor de CBR al 95% de la MDS muestra un incremento constante, pasando de 8.4% sin cemento a 13.3% al 7% de cemento.

De igual manera, el CBR al 100% de la MDS aumenta de 5.0% (0%) a 10.8% (7%).

## **4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.3.1. Discusión internacional**

En su análisis, Kumar y Sharma demostraron que la combinación de 6 % de cal con 7 % de cemento generó un incremento superior al 600 % en el CBR respecto al terreno natural. Asimismo, se registró una optimización en la



densidad seca máxima y una reducción del contenido óptimo de humedad, lo que evidencia una optimización integral en el comportamiento mecánico y físico del terreno tratado. Estos resultados fueron obtenidos en terrenos arcillosos de baja amplitud portante, lo cual guarda similitud con las condiciones de terrenos encontrados en muchas zonas altoandinas.

#### **4.3.2. Discusión y resultados de la presente investigación**

De forma similar, en el presente estudio realizado en la ciudad de Juliaca, se evaluó el comportamiento del terreno subrasante utilizando también proporciones de 6 % de cal y 7 % de cemento. En las calicatas 1 y 2 se evidenció un incremento significativo del CBR, alcanzando valores de 13.1 y 13.3, respectivamente. Además, la densidad seca máxima alcanzó  $1.65 \text{ g/cm}^3$  (calicata 1) y  $1.64 \text{ g/cm}^3$  (calicata 2), mientras que el contenido óptimo de humedad se redujo a 15.9 % y 16 %, respectivamente. Estos resultados reflejan una clara optimización en las propiedades mecánicas y físicas del terreno estabilizado, coincidiendo con las tendencias reportadas por Kumar y Sharma.

#### **4.3.3. Discusión internacional**

En Pakistán, Riaz et al. (2022) realizaron un estudio sobre la cimentación de terrenos finos utilizando cal (2 % - 6 %) y cemento (3 % - 7 %), enfocándose particularmente en la durabilidad mecánica y la durabilidad del terreno en condiciones remojadas. Los resultados mostraron que el uso de 7 % de cemento fue más eficiente que la cal, alcanzando un incremento del CBR remojado entre 200 % y 300 % y una duplicación de la durabilidad sin confinamiento después de 28 días de curado. Este comportamiento se atribuyó a la alta reactividad del cemento y su amplitud de endurecimiento rápido, factores que resultan especialmente beneficiosos en aplicaciones donde se requiere puesta en



servicio temprana, como en vías sometidas a tráfico frecuente o condiciones climáticas adversas.

#### **4.3.4. Discusión y resultados de la presente investigación**

En la presente investigación realizada en Juliaca, se trabajó con proporciones similares de cal (2 %, 4 %, 6 %) y cemento (3 %, 5 %, 7 %), observando también un desempeño superior del cemento al 7 %, con valores de CBR de 13.1 y 13.3 en las calicatas 1 y 2, respectivamente. Estos resultados muestran una optimización considerable respecto al terreno natural, aunque sin centrarse en condiciones remojadas, lo que representa una posible línea de investigación futura. No obstante, se coincide con Riaz et al. en que el cemento, especialmente a mayores dosificaciones, proporciona una durabilidad inicial más alta, lo cual es ventajoso para acelerar los tiempos de construcción y optimizar la estabilidad temprana del terreno en vías de zonas altoandinas.

#### **En general**

Los estudios coinciden en que la combinación de cal y cemento, especialmente en dosificaciones más altas, optimiza sustancialmente las propiedades del terreno, aunque el comportamiento específico puede variar según el tipo de terreno y las condiciones ambientales. Además, resaltan que el cemento tiende a ofrecer mayores durabilidades iniciales, lo que lo convierte en una opción favorable para situaciones que requieren rápida habilitación de vías o durabilidad temprana.



## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** El presente estudio demostró que la cimentación de terrenos respecto a la la anexión de diferentes porcentajes de cal y cemento en proporciones adecuadas constituye una respuesta técnica efectiva para optimizar las condiciones de la subrasante en las vías de la ciudad de Juliaca. La aplicación de cemento permitió un aumento importante en la durabilidad inicial del terreno, comprobado a través del incremento del valor CBR, mientras que la anexión de cal contribuyó a la decreción de la plasticidad y a una mejor trabajabilidad del material.

**SEGUNDA:** La adición de cal y cemento en cantidades de hasta 6% y 7% respectivamente optimizó de forma relevante las características mecánicas y físicas del terreno en la subrasante. En las calicatas evaluadas, decreció el grado de plasticidad (hasta 6.8), aumentando la densidad seca máxima (hasta 1.65 g/cm<sup>3</sup>), se optimizó el contenido de humedad (alrededor de 16%) y se aumentó la durabilidad CBR (hasta 13.3%), demostrando que la cimentación con estos aditivos es una solución importante para terrenos de baja calidad.

**TERCERA:** El efecto de la aplicación de cal en cantidades de 2%, 4% y 6%, y de cemento en 3%, 5% y 7%, demuestra una reducción significativa en el índice de plasticidad del material. En la calicata 1, con la adición de 6% de cal, el índice de plasticidad decreció a 7, mientras que con 7% de cemento disminuyó a 6.8. En la calicata 2, se redujo a 7.3 con 6% de cal y a 7.2 con 7% de cemento. Estos resultados evidencian que tanto la cal como el cemento son aditivos eficaces



para optimizar la plasticidad del terreno, favoreciendo su estabilidad, trabajabilidad y desempeño como aditivo de subrasante en proyectos de infraestructura vial.

**CUARTA:** La aplicación de cal en cantidades de 2%, 4% y 6%, y de cemento en proporciones de 3%, 5% y 7%, optimización de forma relevante el nivel de compactación del terreno. En la calicata N° 1, con 6% de cal, fue obtenida una densidad seca de  $1.64 \text{ g/cm}^3$  y un contenido adecuado de humedad de 16.1%; mientras que con 7% de cemento, la densidad seca fue de  $1.65 \text{ g/cm}^3$  y la humedad óptima, 15.9%. En la calicata N° 2, con 6% de cal, la densidad seca alcanzó  $1.63 \text{ g/cm}^3$  y la humedad óptima fue de 16.5%; con 7% de cemento, la densidad seca fue de  $1.64 \text{ g/cm}^3$  y la humedad óptima de 16.0%. Confirmando que la cimentación con cal y cemento no solo optimizaron la compactación, sino que también optimiza las condiciones del terreno para su desempeño estructural en obras viales.

**QUINTA:** La aplicación de cal en cantidades de 2%, 4% y 6%, y de cemento en proporciones de 3%, 5% y 7%, incrementa de manera significativa el valor del CBR. En la calicata N.º 01, con la anexión de 6% de cal, el CBR alcanzó un valor de 12.4%, mientras que con 7% de cemento se incrementó a 13.1%. En la calicata N.º 02, el CBR llegó a 12.9% con 6% de cal y a 13.3% con 7% de cemento. Estos resultados evidencian que tanto la cal como el cemento son agentes estabilizantes eficaces para optimizar la amplitud portante del terreno.



## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Se recomienda complementar los estudios de cimentación de terrenos con cal y cemento incorporando ensayos de durabilidad a la compresión no confinada, buscando examinar la conducta mecánica del terreno tratado bajo cargas axiales directas. Esta propiedad es fundamental para conocer la amplitud estructural del material en condiciones reales de carga, especialmente en capas de subrasante sometidas a esfuerzos repetitivos.

**SEGUNDA:** se recomienda a futuros investigadores analizar cómo varía la durabilidad a la compresión en función del tiempo de curado, las condiciones de humedad y temperatura, ya que estos factores influyen de forma relevante en el proceso de endurecimiento del terreno-cemento y terreno-cal. Realizar estos ensayos permitirá establecer correlaciones más completas con los valores de CBR, densidad seca y plasticidad, optimizando así el diseño de mezclas estabilizadas para diferentes tipos de terreno y condiciones climáticas.

**TERCERA:** Se recomienda a futuros investigadores incorporar el ensayo triaxial en estudios de cimentación de terrenos con cal y cemento, con el objetivo de obtener una evaluación más integral y precisa del comportamiento mecánico del terreno tratado, especialmente bajo condiciones de carga que simulan de forma más realista las que se presentan en estructuras viales en servicio. Este ensayo permite determinar parámetros fundamentales como la cohesión y el ángulo de fricción interna, los cuales son esenciales para el análisis de durabilidad al corte, diseño estructural y evaluación de



estabilidad en capas de subrasante. A diferencia de otros ensayos convencionales, el triaxial ofrece la posibilidad de estudiar el terreno en diferentes condiciones de drenaje (no consolidado–no drenado, consolidado–no drenado y consolidado–drenado), lo cual es particularmente útil en terrenos estabilizados que pueden experimentar distintos niveles de saturación dependiendo del clima y del tráfico.

**CUARTA:** Se recomienda incorporar en futuros estudios el ensayo de durabilidad o intemperismo acelerado en terrenos estabilizados con cal y cemento, con el objetivo de evaluar el comportamiento del material frente a las condiciones ambientales adversas características de la ciudad de Juliaca, como la exposición prolongada a ciclos de humedad-sequedad y congelamiento-deshielo.

**QUINTA:** A futuras investigaciones se sugiere que este ensayo se realice tanto en muestras naturales como en terrenos tratados con diferentes porcentajes de cal y cemento, permitiendo establecer comparaciones claras y cuantificables del efecto de los estabilizantes en la durabilidad estructural del terreno. El uso del triaxial tipo CU (consolidado no drenado) es especialmente recomendable para representar condiciones intermedias de campo, como las que predominan en regiones altoandinas como Juliaca, donde los terrenos pueden permanecer parcialmente saturados durante buena parte del año.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alligery, R. G. (2021). *Influencia de cal y cemento en la subrasante de la trocha carrozable del centro poblado San Antonio, Cajamarca – 2021.*  
[file:///C:/Users/PC/Downloads/Rojas\\_GJA-SD.PDF](file:///C:/Users/PC/Downloads/Rojas_GJA-SD.PDF).
- Anguas, P. G. (2014). *cimentación de terrenos con cal y cemento en las vías terrestres*  
<https://www.unilibre.edu.co//index.php/avances/article/download/6856/7620/23836>.
- Borja, S. M. (2012). *Metodología de Investigación Científica para ingeniería Civil.*  
[https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_Investigaci%C3%B3n\\_Cient%C3%ADfica\\_para\\_ingenier%C3%ADa\\_Civil](https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_para_ingenier%C3%ADa_Civil).
- Carlos, A. E. (2021). *Análisis de la cimentación de subrasantes con uso de cal y cemento en la subrasante en vías en el Perú.*  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN\\_5f9744bf4f0429469c377ef4854c1d14](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN_5f9744bf4f0429469c377ef4854c1d14).
- Gonzali, G. M. (2023). *Cimentación de la subrasante con cal y cemento en la Carretera Puno, Perú.*  
[https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2215-37052023000100085](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-37052023000100085).
- H. Hugo Sánchez Carlessi, C. R. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística.*  
<https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>.
- Paola, P. T. (2023). *Cimentación de terrenos arcillosos con cal y cemento.*  
<https://repositorio.pucp.edu.pe/items/7163a62f-19c4-4246-bed8-c0945ee05a20>.



Pérez, R. R. (2011). *Ámbito de un estudio de investigación.*

<https://ricardoruizdeadana.blogspot.com/2011/01/unidad-v-ambito-del-estudio.html>.

Ricardo, M. A. (2021). *Cimentación de terreno mediante adición de cal y cemento en la vía Jerusalén – Guataqui, Cundinamarca, Colombia.*

<https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/3980>.

Roberto Hernández Sampieri, C. F. (2014). *Metodología de la investigación.*

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>.

Suárez, M. B. (2012). *Metodología de Investigación Científica para ingeniería Civil.*

[https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_Investigaci%C3%B3n\\_Cient%C3%ADfica\\_para\\_ingenier%C3%ADa\\_Civil](https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_para_ingenier%C3%ADa_Civil).



# ANEXOS



ANEXO 1 - MATRIZ DE CONSISTENCIA

INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b> ¿De qué manera influye la adición de diferentes porcentajes de cal y cemento sobre las propiedades mecánicas y físicas de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b> Analizar la influencia de la adición de diferentes porcentajes de cal y cemento sobre las propiedades mecánicas y físicas de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b> La adición de diferentes porcentajes de cal y cemento en proporciones adecuadas optimización de forma relevante las propiedades mecánicas y físicas incrementando la durabilidad inicial (CBR) mediante el uso de cemento y reduciendo la plasticidad, optimizándolo la trabajabilidad y estabilidad con la adición de cal del terreno en la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.</p>	<p><b>V. INDEPENDIENTE:</b> (%) Cal (2%, 4% y 6%) (%) Cemento (3%, 5% y 7%)</p> <p><b>V. DEPENDIENTE:</b> Propiedades del Material de la Capa de Subrasante - Propiedades físicas del terreno estabilizado con cal - Propiedades físicas del terreno estabilizado con cemento - Propiedades mecánicas del terreno estabilizado con cal - Propiedades mecánicas del terreno estabilizado cemento</p>	<p>- Porcentaje de cal (%) - Porcentaje de cemento (%) - CBR - Límites de Atterberg - Densidad seca máxima - Óptimo contenido de humedad</p>	<p><b>ENFOQUE:</b> Cuantitativo <b>TIPO:</b> Aplicada <b>NIVEL:</b> Explicativo <b>DISEÑO:</b> Experimental <b>POBLACIÓN:</b> Vías urbanas con terrenos de subrasante de baja amplitud de soporte en la ciudad de Juliaca, Puente Las Américas, en su intersección con la Avenida Perú <b>MUESTRA:</b> Puente Las Américas, en su intersección con la Avenida Perú <b>INSTRUMENTOS:</b> - Equipos de laboratorio - Formatos de ensayo - Software de análisis</p>
<p><b>PE1:</b> ¿Cuáles son las propiedades mecánicas y físicas de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca?</p>	<p><b>OE1:</b> Determinar las propiedades mecánicas y físicas de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.</p>	<p><b>HE1:</b> La adición de cal 2%, 4%, 6% y cemento 3%, 5%, 7% optimización las propiedades mecánicas y físicas del terreno reduciendo el índice de plasticidad, modificando la granulometría, optimizando la densidad seca máxima, el contenido</p>		<p>- Granulometría - Límites de Atterberg - Clasificación SUCS - Densidad</p>	<p><b>TÉCNICAS:</b> - Muestreo de material - Ensayos físicos - Ensayos mecánicos – (%) de cal y (%) de cemento en proporciones</p>



PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>PE2:</b> ¿Cuál es el efecto de la aplicación de cal y cemento en proporciones variables en el índice de plasticidad del material de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca?</p>	<p><b>OE2:</b> Determinar el efecto de la aplicación de cal y cemento en proporciones variables en el índice de plasticidad del material de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.</p>	<p>óptimo de humedad y aumentando de forma relevante la durabilidad CBR del terreno en la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.</p> <p><b>HE2:</b> El efecto de la aplicación de cal en proporciones variables de 2%, 4%, 6%, y de cemento en proporciones variables de 3%, 5%, 7%, reduce el índice de plasticidad del material de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.</p>			
<p><b>PE3:</b> ¿Cuál es el efecto de la aplicación de cal y cemento en proporciones variables en el grado de compactación del material de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca?</p>	<p><b>OE3:</b> Determinar el efecto de la aplicación de cal y cemento en proporciones variables en el grado de compactación del material de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.</p>	<p><b>HE3:</b> El efecto de la aplicación de cal en proporciones variables de 2%, 4% y 6%, y de cemento en proporciones variables de 3%, 5% y 7%, optimización el grado de compactación, alcanzando valores del 95% - 100% Proctor modificado del material de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.</p>			
<p><b>PE4:</b> ¿Cuál es el efecto de la aplicación de cal y cemento en proporciones variables en el CBR del material subrasante en vías de la ciudad de Juliaca?</p>	<p><b>OE4:</b> Determinar el efecto de la aplicación de cal y cemento en proporciones variables en el CBR del material subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.</p>	<p><b>HE4:</b> El efecto de la aplicación de cal en proporciones variables de 2%, 4% y 6%, y de cemento en proporciones variables de 3%, 5% y 7%, incrementa el CBR del material de la capa de subrasante en vías de la ciudad de Juliaca.</p>			
				<p>- Límite líquido - Límite plástico - Índice de plasticidad</p> <p><b>INSTRUMENTOS:</b> - Equipos de límites de Balanzas - Hornos</p>	
				<p>- CBR al 95% MDS - CBR al 100% MDS</p> <p><b>INSTRUMENTOS:</b> - Equipo CBR - Prensa hidráulica - Moldes CBR</p>	

## ANEXO 2 - PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 36

*Trazo de la calicata C – 1**Nota.*

Trazo de la calicata N° 01, El trazo se realizó en la progresiva 0+200 del margen izquierdo.

Figura 37

*Perfil estratigráfico C – 1*

*Nota.* Se observa el perfil estratigráfico del terreno natural, permitiendo identificar sus características.

**Figura 38**

*Extracción de muestra C – 1*



*Nota.* El proceso de extracción, identificación y análisis de muestras del terreno, La muestra fue obtenida en la en la progresiva 0+200 del margen izquierdo.

**Figura 39**

*Ensayo de análisis granulométrico por tamizado C – 1*



*Nota.* Se aplicó el método de tamizado según normas ASTM para determinar la distribución de tamaño de partículas en el terreno de subrasante.

**Figura 40**

*Ensayo de Límites de Atterberg C – 1*



*Nota.*

El

ensayo de límites de Atterberg para evaluar la variación de los límites de consistencia del terreno de subrasante.

**Figura 41**

*Ensayo Proctor Modificado C – 1*



*Nota.* Ensayo Proctor modificado para determinar la relación entre el contenido de humedad y la densidad seca del terreno.

**Figura 42**

*Ensayo de CBR C – 1*



*Nota.* El ensayo CBR evalúa la durabilidad mecánica y amplitud portante del terreno estabilizado, determinando su comportamiento bajo condiciones de compactación específicas.

**Figura 43**

*Trazo de la calicata C – 2*



*Nota.* Trazo de la calicata N° 01, El trazo se realizó en la progresiva 0+400 del margen izquierdo.

**Figura 44**

*Perfil estratigráfico C – 2*



*Nota.* Se observa el perfil estratigráfico del terreno natural, permitiendo identificar características como textura, color, presencia de humedad y horizontes del terreno.

**Figura 45**

*Extracción de muestra C – 2*



*Nota.* El proceso de extracción, identificación y análisis de muestras del terreno, La muestra fue obtenida en la en la progresiva 0+400 del margen izquierdo.

**Figura 46**

*Ensayo de análisis granulométrico por tamizado C – 2*



*Nota.* Se aplicó el método de tamizado según normas ASTM para determinar la distribución de tamaño de partículas en el terreno de subrasante.

**Figura 47**

## Ensayo de Límites de Atterberg C – 2



*Nota.* El ensayo de límites de Atterberg para evaluar la variación de los límites de consistencia del terreno de subrasante.

**Figura 48**

## Ensayo Proctor Modificado C – 2



*Nota.* Ensayo Proctor modificado para determinar la relación entre el contenido de humedad y la densidad seca del terreno.

**Figura 49**

## Ensayo de CBR C – 2



*Nota.* El ensayo CBR evalúa la durabilidad mecánica y amplitud portante del terreno estabilizado, determinando su comportamiento bajo condiciones de compactación específicas.



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

(ASTM D422, NTP 339.128, MTC E 107)

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PROYECTO / OBRA : "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITA : Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ  
UBICACIÓN : Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno  
CALICATA : Cal - 01 ESTRATO : E-1

PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.70 m  
REVISADO : R.Z.C.CH.  
TECNICO : R.Y.J.V.  
FECHA ANALISIS : Mayo del 2025

Peso Inicial Seco : 2481

Peso malla < N°4 : 391.41

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)
3"	76.2	0.00
2"	50.8	0.00
1 1/2"	38.1	0.00
1"	25.4	0.00
3/4"	19	0.00
3/8"	9.5	12.00
N° 4	4.75	9.20

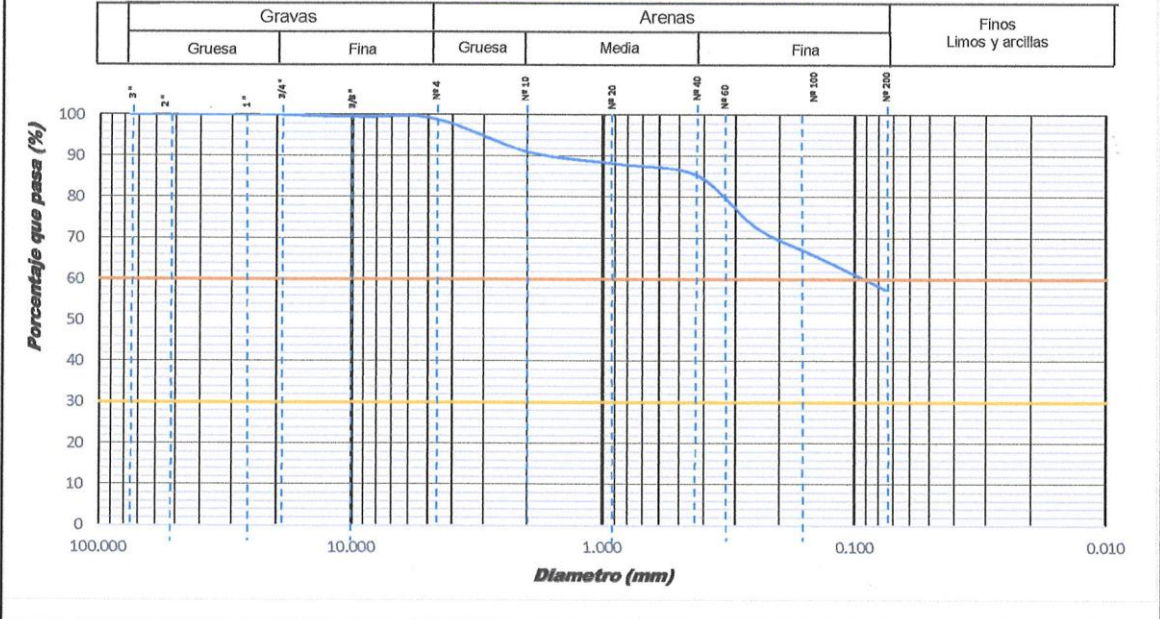
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)
N° 10	2.000	32.0
N° 20	0.840	11.8
N° 40	0.425	10.8
N° 60	0.250	49.7
N° 100	0.150	25.6
N° 200	0.075	34.2
<N° 200	---	227.3

N° DE MALLAS	ABERTURA DE MALLAS (mm)	% RETEN PARCIAL	% RETEN. ACUMUL	% QUE PASA
3"	76.200	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.48	0.48	99.52
N° 4	4.750	0.37	0.85	99.15
N° 10	2.000	8.09	8.95	91.05
N° 20	0.840	3.00	11.95	88.05
N° 40	0.425	2.75	14.69	85.31
N° 60	0.250	12.59	27.28	72.72
N° 100	0.150	6.48	33.76	66.24
N° 200	0.075	8.66	42.43	57.57
<N° 200		57.57	100.00	0.00

GENERALIDADES	
Clasificación Visual Manual	---
Notas sobre la muestra	---
Nivel freático	---
Tamizado compuesto	SI
Tamiz separador	N° 4
Metodo de tamizado	Manual
RESULTADOS DE ENSAYOS	
Humedad Natural	20.4 %
Limite Ilquido	29.1
Limite Plástico	16.0
Indice Plástico	13.1
COMPOSICIÓN FISICA DEL SUELO EN FUNCIÓN AL TAMAÑO DE PARTICULAS	
Grava (N° 4 < φ < 3")	0.9
Arena (N° 200 < φ < N° 4)	41.6
Finos (φ < N° 200)	57.6
Tamaño máx. de la grava (pulg)	.....
Forma del suelo grueso	.....
CLASIFICACION DEL SUELO	
AASHTO	A-4
SUCS	ML
NOMBRE DEL GRUPO	Limos inorgánicos con arenas muy finas



### CURVA GRANULOMETRICA



Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Kimberly Zucun Chumbo  
CIP. 177165  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

(ASTM D-4318, NTP 339.129, MTCE 110/11)

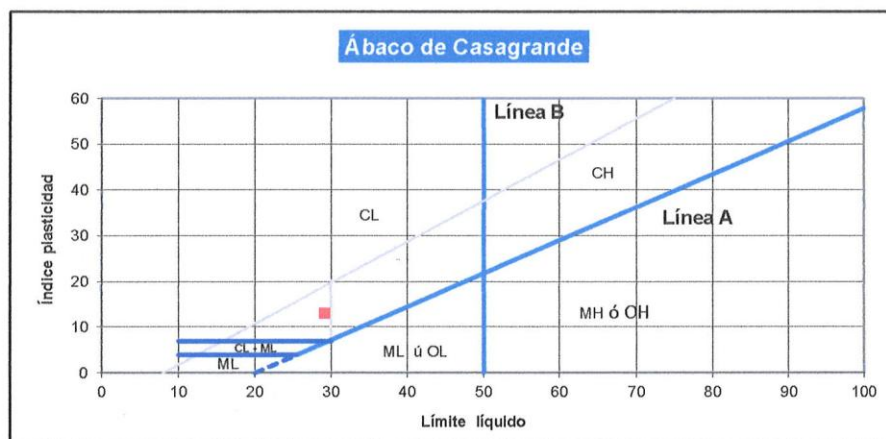
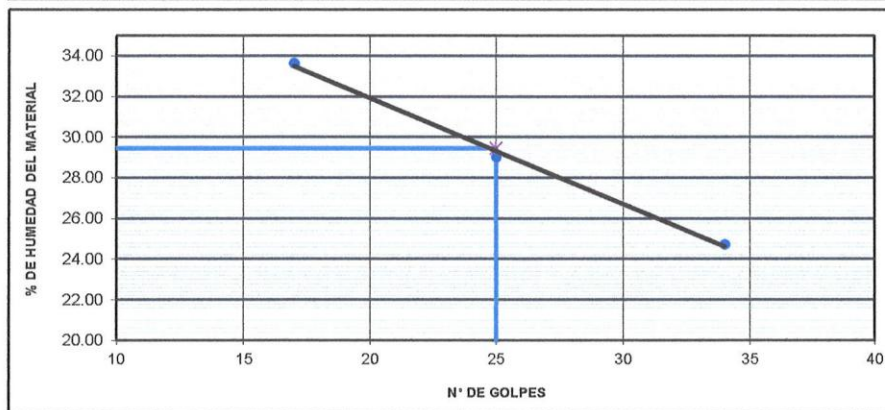
#### LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO / OBRA : "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.70 m
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	REVISADO	: R.Z.C.CH.
CALICATA	: Cal - 01	TECNICO	: R.Y.J.V.
ESTRATO	: E-1	FECHA ANALISIS	: Mayo del 2025

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	A-260	A-120	A-440	C-02	C-11
Nº DE CAPSULA					
MASA TARA + SUELO HUMEDO (A)	36.37	39.22	38.57	13.00	14.87
MASA TARA + SUELO SECO (B)	31.24	33.98	34.06	12.18	14.09
MASA DE LA TARA (C)	15.99	15.94	15.84	7.55	8.63
MASA DEL AGUA (A-B)	5.13	5.24	4.51	0.82	0.78
MASA SUELO SECO (B-C)	15.25	18.04	18.22	4.63	5.46
HUMEDAD $[W=(A-B)/(B-C)*100]$	33.64	29.05	24.75	17.71	14.29
Nº DE GOLPES	17	25	34		

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
29.15	16.00	13.1



Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Ramsay Zubón Cutimbo Checcalla  
CIP. 177165  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

(ASTM D 2216, NTP 339.127, MTC E 108)

#### HUMEDAD NATURAL

<b>PROYECTO / OBRA</b>	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA		
<b>SOLICITA</b>	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.20 - 1.70 m
<b>UBICACIÓN</b>	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	<b>REVISADO</b>	: R.Z.C.CH.
<b>CALICATA</b>	: Cal - 01	<b>TECNICO</b>	: R.Y.J.V.
<b>ESTRATO</b>	: E-1	<b>FECHA ANALISIS</b>	: Mayo del 2025

#### CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

Metodo de ensayo	X		Metodo "A"	Metodo "B"
	-----	-----	-----	-----
1 Tara N°	S-35			
2 Masa Suelo húmedo + masa recipiente (g)	138.6			
3 Masa Suelo seco + masa recipiente (g)	117.5			
4 Masa de agua (g) ( 1 - 2 )	21.1			
5 Masa del recipiente (g)	14.6			
6 Suelo seco (g) ( 2 - 4 )	103.0			
7 % de Humedad	20.4			

OBSERVACIONES:

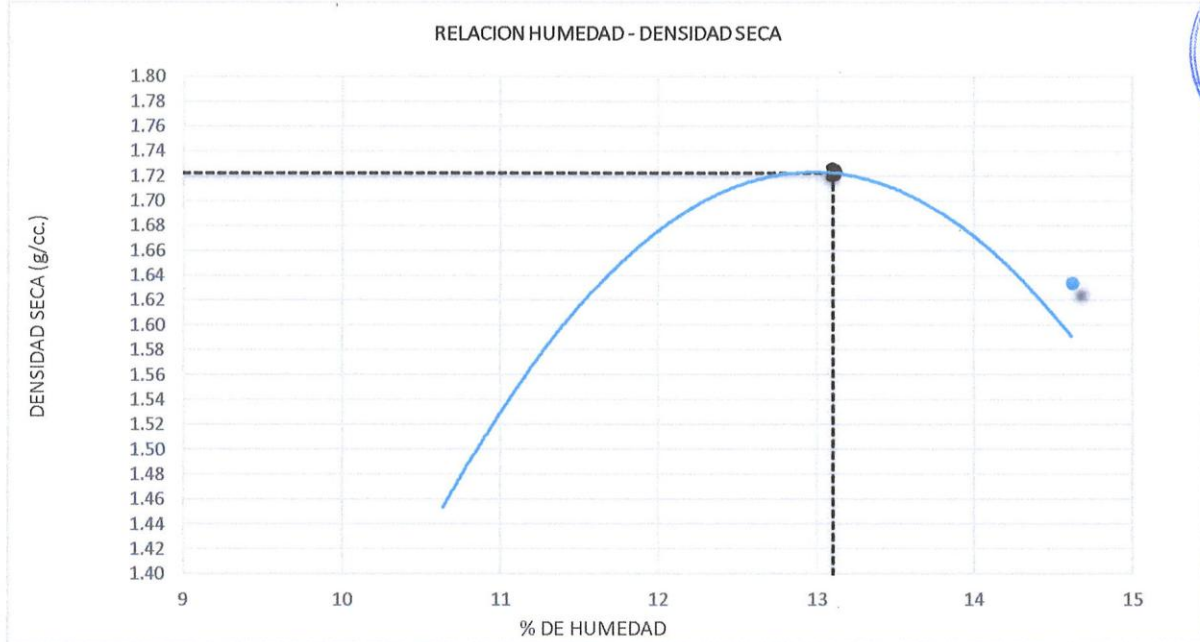
Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.



Ing. Rimsy Zenon Cuatrecasas Chocalla  
CIP. 177165  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS					
ASTM D1557					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO					
PROYECTO	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA				
SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ		REVISADO	: R.Z.C.Ch.	
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno		TECNICO	: R.Y.J.V.	
CALICATA	: Cal - 01	ESTRATO	: E-1	FECHA	: Mayo del 2025
Molde N°	001	Método de compactación	"C"		
Volumen Molde	2043 cm <sup>3</sup>	N° de capas	: 05		
Masa del Molde	6561 gr	N° de golpes por capa	: 56		
Determinación	N°	01	02	03	
Masa del molde y Muestra	g	10121	10477	10287	
Masa del molde	g	6835	6561	6561	
Masa de la muestra compactada	g	3286	3916	3726	
Densidad húmeda	g/cc	1.608	1.92	1.82	
Densidad seca	g/cc	1.45	1.71	1.59	
Contenido de Humedad					
Recipiente	N°	Z-40	Z-43	Z-46	
Masa del Recipiente	g	14.3	14.5	14.3	
Masa del Recipiente + Suelo húmedo	g	97.5	95.3	95.2	
Masa del Recipiente + Suelo seco	g	89.5	86.4	84.9	
Masa de agua	g	8.0	8.9	10.3	
Masa del suelo seco	g	75.2	71.9	70.6	
Contenido de humedad	%	10.6	12.4	14.6	
Promedio		10.6	12.4	14.6	
<b>DENSIDAD MAXIMA :</b>		<b>1.72</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD:</b>	<b>13.10 %</b>



### OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Rimsy Zenon Cutimbo Checalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

ASTM D1883

#### VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA -CBR

**PROYECTO** : "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VIAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

**SOLICITA** : Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ **REVISADO** : R.Z.C.Ch.

**UBICACIÓN** : Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno **TECNICO** : R.Y.J.V.

**CALICATA** : Cal - 01 **ESTRATO** : E-1 **FECHA** : Mayo del 2025

#### CALCULO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

Molde	010	011	012
Numero de capas	05	05	05
Numero de golpes	56	25	12

Condicion de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
Masa suelo humedo + molde	12010	12285	11790	12113	10824	11245
Masa molde g	7890	7890	7870	7870	7088	7088
Masa del Suelo humedo g	4120	4395	3920	4243	3736	4157
Volumen del molde g	2116	2116	2113	2113	2088	2088
Densidad humeda g/cm <sup>3</sup>	1.95	2.08	1.86	2.01	1.79	1.99
Recipiente N°						
Recipiente + suelo humedo g	76.5	71.3	78.6	80.3	73.8	75.7
Recipiente + suelo seco g	69.6	63.3	71.5	69.8	67.3	65.0
Masa del agua g	6.9	8.0	7.2	10.5	6.5	10.7
Masa de recipiente g	16.6	16.3	16.5	16.8	16.9	16.4
Masa del suelo seco g	53.0	47.0	55.0	53.0	50.4	48.6
Contenido de humedad %	13.0	17.1	13.1	19.8	12.9	21.9
Promedio de humedad	13.0	17.1	13.1	19.8	12.9	21.9
Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	1.72	1.77	1.64	1.68	1.58	1.63



#### Penetración

PENETRACIÓN		Carga Estándar kg/cm <sup>2</sup>	Molde Carga		010 Corrección		Molde Carga		011 Corrección		Molde Carga		012 Corrección	
mm.	pulg.		kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %
0.00	0.000		0	0.00			0	0.0			0	0.00		
0.63	0.025		24	1.2			19	0.9			10	0.5		
1.27	0.050		51	2.5			38	1.9			25	1.2		
1.91	0.075		78	3.9			61	3.0			55	2.7		
2.54	0.100	70.4	112	5.5	5.6	7.9	91	4.5	4.6	6.5	79	3.9	4.0	5.7
3.81	0.150		241	11.9			186	9.2			128	6.3		
5.09	0.200	104.0	331	16.4	16.4	15.8	248	12.3	12.3	11.8	162	8.0	8.1	7.8

OBSERVACIONES:

Ing. Rimsy Zenon Cuzimbo Checalla  
CIP. 177165  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

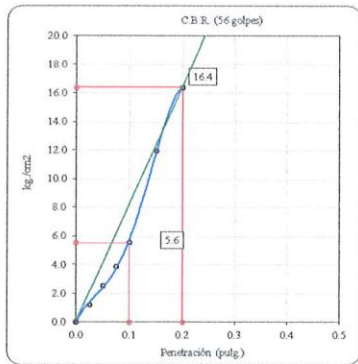


LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR	
PROYECTO	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITA	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ
UBICACIÓN	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno
CALICATA	Cal - 01
ESTRATO	E-1
REVISADO	R.Z.C.Ch.
TECNICO	R.Y.J.V.
FECHA	Mayo del 2025
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA	
ASTM D1883	

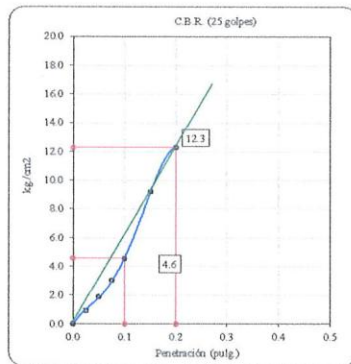
**Datos de muestra**

Máxima Densidad Seca 1.72 gr./cm<sup>3</sup>  
 Máxima Densidad Seca al 95% 1.64 gr./cm<sup>3</sup>

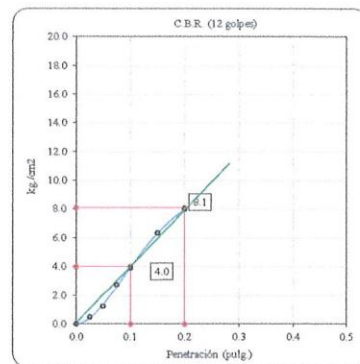
Optimo Contenido de Humedad 13.10 %



C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : 7.9 %

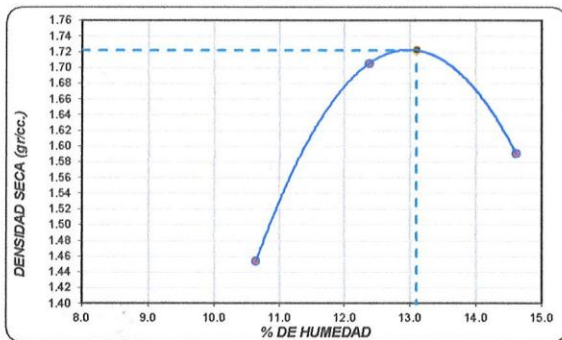


C.B.R. (0.1") 25 GOLPES : 6.5 %



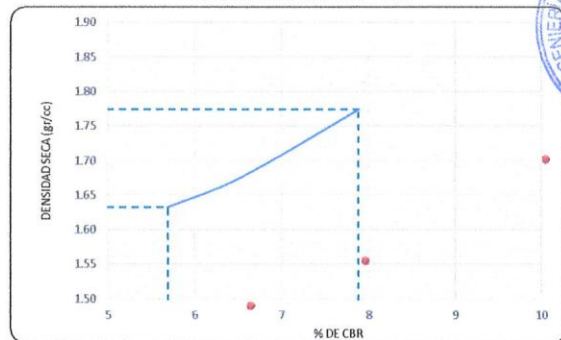
C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : 5.7 %

**CURVA DE COMPACTACIÓN - ASTM D1557**



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1": 7.9 %  
 C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.1": 5.7 %

**CURVA CBR Vs DENSIDAD SECA**



Ing. Zenon Cimbo Checalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

(ASTM D-4318, NTP 339.129, MTCE 110/111)

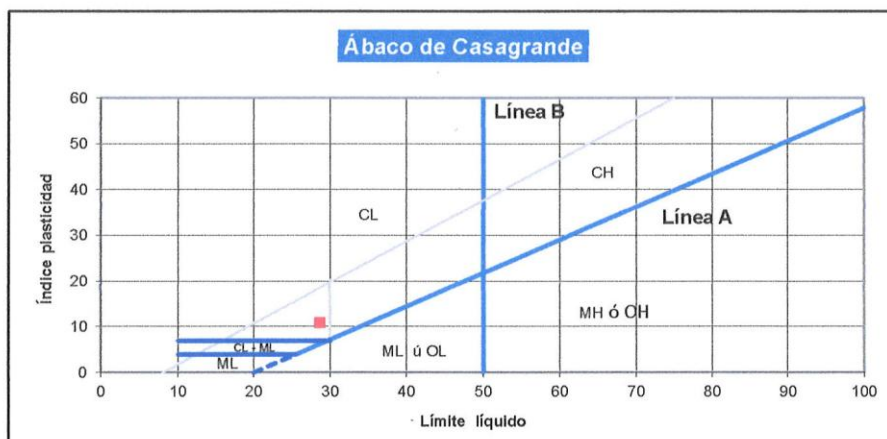
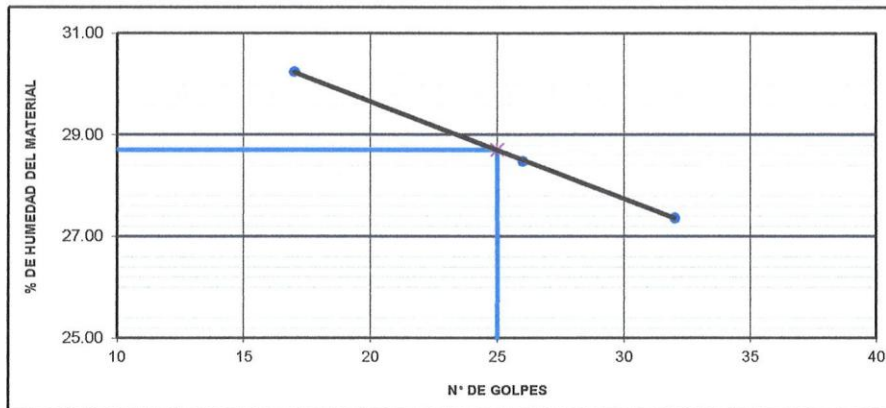
#### LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO / OBRA : "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.70 m
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	REVISADO	: R.Z.C.CH.
MATERIAL	: CALICATA 01 + 2% CAL	TECNICO	: R.Y.J.V.
		FECHA ANALISIS	: Mayo del 2025

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	S-301	S-767	X-454	S-21	S-04
MASA TARA + SUELO HUMEDO (A)	37.15	36.44	34.56	16.25	18.46
MASA TARA + SUELO SECO (B)	32.09	32.46	30.21	14.77	16.75
MASA DE LA TARA (C)	15.36	18.49	14.32	6.23	7.28
MASA DEL AGUA (A-B)	5.06	3.98	4.35	1.48	1.71
MASA SUELO SECO (B-C)	16.73	13.97	15.89	8.54	9.47
HUMEDAD $W=(A-B)/(B-C)*100$	30.25	28.49	27.38	17.33	18.06
Nº DE GOLPES	17	26	32		

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
28.70	17.69	11.0

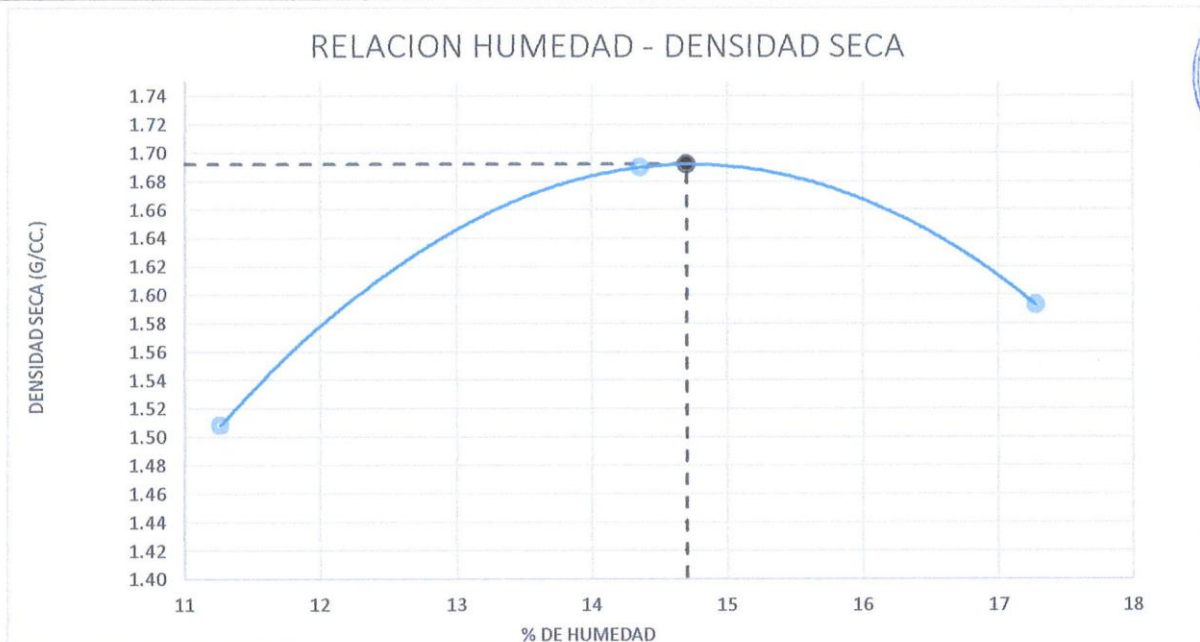


Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Rinsky Zenon Cutimbo Chocalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS					
ASTM D1557					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO					
<b>PROYECTO</b>	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA				
<b>SOLICITA</b>	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ		<b>REVISADO</b>	: R.Z.C.Ch.	
<b>UBICACIÓN</b>	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno		<b>TECNICO</b>	: R.Y.J.V.	
<b>MATERIAL</b>	: CALICATA 01 + 2% CAL		<b>FECHA</b>	: Mayo del 2025	
Molde N°	001	Método de compactación	"C"		
Volumen Molde	2043 cm <sup>3</sup>	N° de capas	: 05		
Masa del Molde	6561 gr	N° de golpes por capa	: 56		
Determinación	N°	01	02	03	
Masa del molde y Muestra	g	9974	10492	10361	
Masa del molde	g	6561	6561	6561	
Masa de la muestra compactada	g	3413	3931	3800	
Densidad húmeda	g/cc	1.671	1.92	1.86	
Densidad seca	g/cc	1.51	1.69	1.59	
Contenido de Humedad					
Recipiente	N°	G-21	H-43	S-22	
Masa del Recipiente	g	14.4	18.5	17.2	
Masa del Recipiente + Suelo húmedo	g	92.8	93.7	98.4	
Masa del Recipiente + Suelo seco	g	85.2	84.5	86.8	
Masa de agua	g	7.6	9.2	11.7	
Masa del suelo seco	g	70.8	66.0	69.6	
Contenido de humedad	%	10.8	13.9	16.8	
Promedio		10.8	13.9	16.8	
<b>DENSIDAD MAXIMA :</b>	<b>1.69</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD:</b>	<b>14.20</b>	<b>%</b>



### OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Zenon Curipto Checalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

ASTM D1883

#### VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA -CBR

**PROYECTO** : "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

**SOLICITA** : Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ **REVISADO** : R.Z.C.Ch.

**UBICACIÓN** : Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno **TECNICO** : R.Y.J.V.

**MATERIAL** : CALICATA 01 + 2% CAL **FECHA** : Mayo del 2025

#### CALCULO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

Molde	013	014	015
Numero de capas	05	05	05
Numero de golpes	56	25	12

Condicion de la muestra	No Saturado		Saturado		No Saturado		Saturado	
	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>
Masa suelo humedo + molde	12379		12416		11904		12001	
Masa molde g	8326		8326		8337		8337	
Masa del Suelo humedo g	4053		4090		3567		3664	
Volumen del molde g	2098		2098		2149		2149	
Densidad humeda g/cm <sup>3</sup>	1.93		1.95		1.66		1.70	
Recipiente N°								
Recipiente + suelo humedo g	85.8		94.2		82.6		86.2	
Recipiente + suelo seco g	77.4		84.6		74.5		76.8	
Masa del agua g	8.4		9.6		8.1		9.4	
Masa de recipiente g	18.6		19.5		17.2		15.3	
Masa del suelo seco g	58.9		65.2		57.3		61.5	
Contenido de humedad %	14.2		14.7		14.2		15.3	
Promedio de humedad	14.2		14.7		14.2		15.3	
Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	1.69		1.70		1.45		1.48	



#### Penetración

PENETRACIÓN		Carga Estándar kg/cm <sup>2</sup>	Molde Carga		013 Corrección		Molde Carga		014 Corrección		Molde Carga		015 Corrección	
mm.	pulg.		kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %
0.00	0.000		0	0.00			0	0.0			0	0.00		
0.63	0.025		19	0.9			12	0.6			8	0.4		
1.27	0.050		59	2.9			42	2.1			31	1.5		
1.91	0.075		94	4.7			75	3.7			61	3.0		
2.54	0.100	70.4	131	6.5	6.5	9.2	109	5.4	5.4	7.7	99	4.9	4.9	6.9
3.81	0.150		201	10.0			161	8.0			144	7.1		
5.09	0.200	104.0	281	13.9	13.8	13.3	209	10.3	10.3	9.9	191	9.5	9.5	9.1

OBSERVACIONES:

Ing. Kimsky Zeon Cutimbo Checalla  
C.I.P. 177165  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



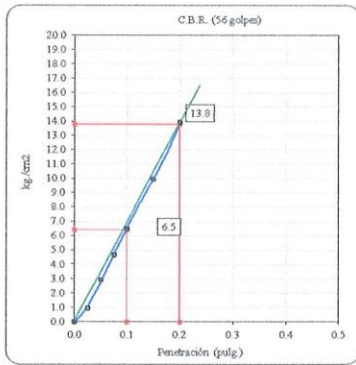


LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR	
PROYECTO	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITA	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ
UBICACIÓN	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno
MATERIAL	CALICATA 01 + 2% CAL
REVISADO	R.Z.C.Ch.
TECNICO	R.Y.J.V.
FECHA	Mayo del 2025
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA	
ASTM D1883	

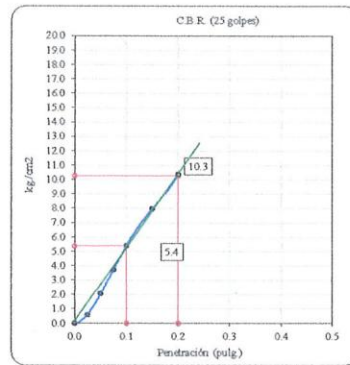
### Datos de muestra

Máxima Densidad Seca 1.69 gr/cm<sup>3</sup>  
 Máxima Densidad Seca al 95% 1.61 gr/cm<sup>3</sup>

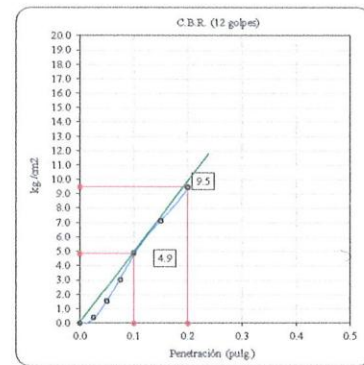
Optimo Contenido de Humedad 14.20 %



C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : 9.2 %

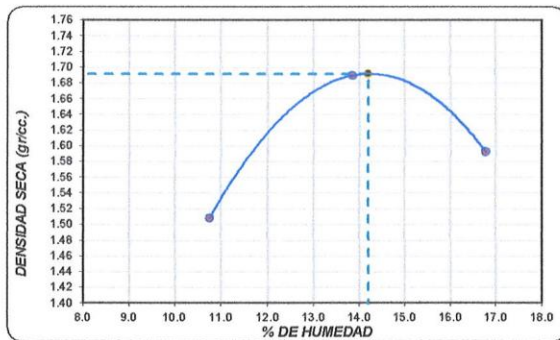


C.B.R. (0.1") 25 GOLPES : 7.7 %



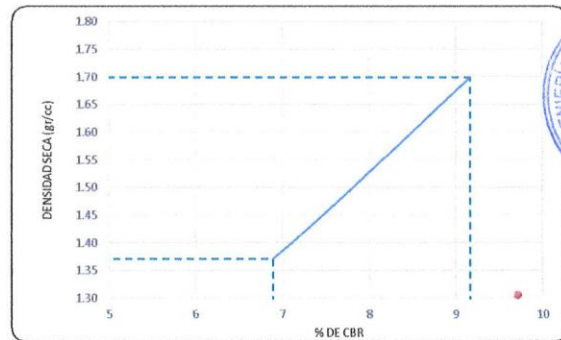
C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : 6.9 %

### CURVA DE COMPACTACIÓN - ASTM D1557



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1": 9.2 %  
 C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.1": 6.9 %

### CURVA CBR Vs DENSIDAD SECA



Ing. Rinsky Zenon Cutimbo Checaña  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA





### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

(ASTM D-4318, NTP 339.129, MTC E 110/111)

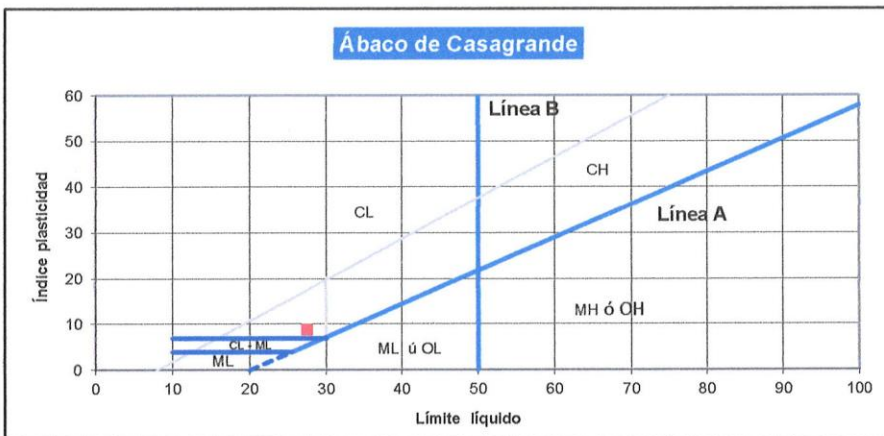
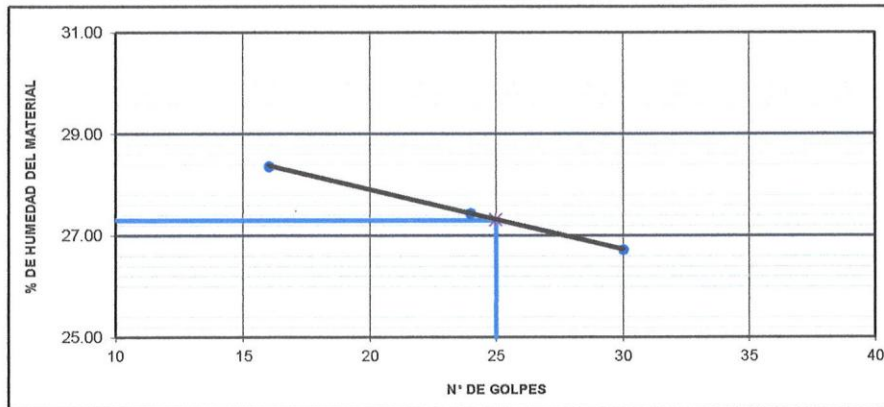
#### LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO / OBRA : "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.70 m
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	REVISADO	: R.Z.C.CH.
MATERIAL	: CALICATA 01 + 4% CAL	TECNICO	: R.Y.J.V.
		FECHA ANALISIS	: Mayo del 2025

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	R-101	R-09	K-100	B-123	A-212
N° DE CAPSULA					
MASA TARA + SUELO HUMEDO (A)	39.16	37.14	35.28	17.46	17.08
MASA TARA + SUELO SECO (B)	34.15	32.85	31.18	15.99	15.60
MASA DE LA TARA (C)	16.49	17.22	15.84	8.10	7.68
MASA DEL AGUA (A-B)	5.01	4.29	4.10	1.47	1.48
MASA SUELO SECO (B-C)	17.66	15.63	15.34	7.89	7.92
HUMEDAD $W=(A-B)/(B-C)*100$	28.37	27.45	26.73	18.63	18.69
N° DE GOLPES	16	24	30		

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
27.51	18.66	8.9



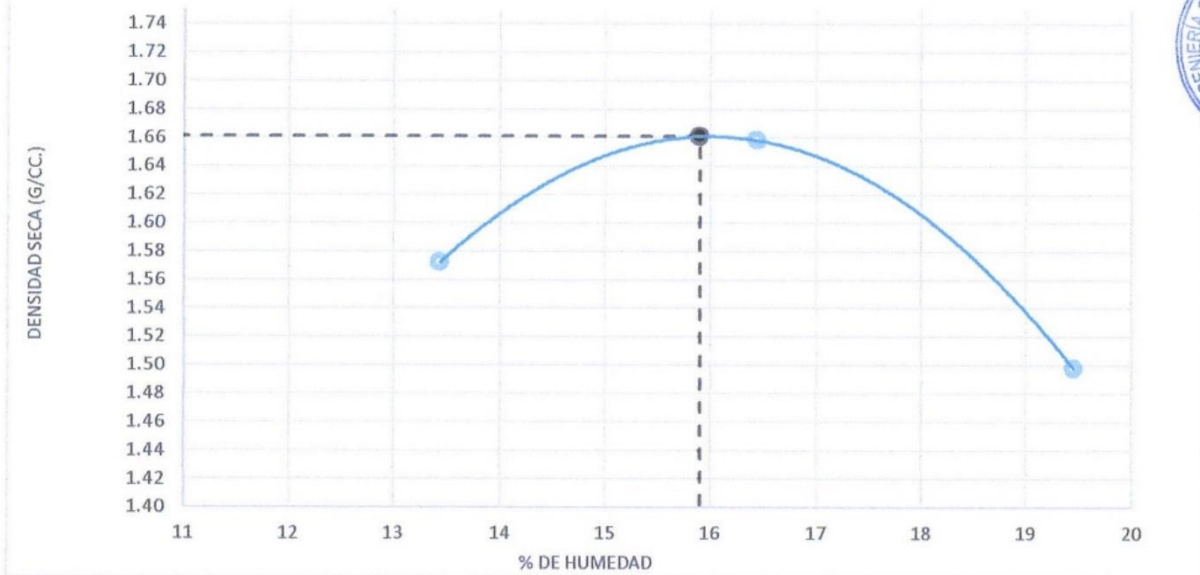
Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Kinsey Zenon Cuzco Chocalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS					
ASTM D1557					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO					
<b>PROYECTO</b>	:	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA			
<b>SOLICITA</b>	:	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	<b>REVISADO</b>	:	R.Z.C.Ch.
<b>UBICACIÓN</b>	:	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	<b>TECNICO</b>	:	R.Y.J.V.
<b>MATERIAL</b>	:	CALICATA 01 + 4% CAL	<b>FECHA</b>	:	Mayo del 2025
Molde N°	001	Método de compactación		"C"	
Volumen Molde	2043 cm <sup>3</sup>	N° de capas		: 05	
Masa del Molde	6561 gr	N° de golpes por capa		: 56	
Determinación	N°	01	02	03	
Masa del molde y Muestra	g	10189	10489	10201	
Masa del molde	g	6561	6561	6561	
Masa de la muestra compactada	g	3628	3928	3640	
Densidad húmeda	g/cc	1.776	1.92	1.78	
Densidad seca	g/cc	1.57	1.66	1.50	
Contenido de Humedad					
Recipiente	N°	R-30	G-57	P-09	
Masa del Recipiente	g	15.3	19.7	15.1	
Masa del Recipiente + Suelo húmedo	g	89.6	97.2	96.1	
Masa del Recipiente + Suelo seco	g	81.1	86.5	83.2	
Masa de agua	g	8.5	10.6	12.9	
Masa del suelo seco	g	65.8	66.8	68.1	
Contenido de humedad	%	12.9	15.9	19.0	
Promedio		12.9	15.9	19.0	
<b>DENSIDAD MAXIMA :</b>		<b>1.66</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD:</b>	<b>15.40 %</b>

### RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA



#### OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Rimsky Zenon Cutimbo Chocalla  
CIP. 177165  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

ASTM D1883

#### VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA -CBR

**PROYECTO** : "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VIAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

**SOLICITA** : Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ **REVISADO** : R.Z.C.Ch.

**UBICACIÓN** : Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno **TECNICO** : R.Y.J.V.

**MATERIAL** : CALICATA 01 + 4% CAL **FECHA** : Mayo del 2025

#### CALCULO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

	016	017	018
Molde	016	017	018
Numero de capas	05	05	05
Numero de golpes	56	25	12

Condicion de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
Masa suelo humedo + molde	12201	12274	11721	11832	11321	11474
Masa molde g	8127	8127	8060	8060	7940	7940
Masa del Suelo humedo g	4074	4147	3661	3772	3381	3534
Volumen del molde g	2125	2125	2064	2064	2088	2088
Densidad humeda g/cm <sup>3</sup>	1.92	1.95	1.77	1.83	1.62	1.69
Recipiente N°						
Recipiente + suelo humedo g	85.8	94.2	82.6	86.2	88.8	89.1
Recipiente + suelo seco g	76.2	83.6	74.0	76.1	79.6	78.2
Masa del agua g	9.5	10.6	8.6	10.1	9.2	11.0
Masa de recipiente g	14.5	17.5	18.5	15.4	19.8	15.3
Masa del suelo seco g	61.8	66.1	55.5	60.7	59.8	62.9
Contenido de humedad %	15.4	16.0	15.4	16.6	15.4	17.4
Promedio de humedad	15.4	16.0	15.4	16.6	15.4	17.4
Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	1.66	1.68	1.54	1.57	1.40	1.44



#### Penetración

PENETRACIÓN		Carga Estándar	Molde		016		Molde		017		Molde		018	
mm.	pulg.	kg/cm <sup>2</sup>	Carga		Corrección		Carga		Corrección		Carga		Corrección	
			kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %
0.00	0.000		0	0.00			0	0.0			0	0.00		
0.63	0.025		32	1.6			25	1.2			16	0.8		
1.27	0.050		72	3.6			62	3.1			51	2.5		
1.91	0.075		110	5.4			99	4.9			91	4.5		
2.54	0.100	70.4	151	7.5	7.5	10.7	141	7.0	6.9	9.8	132	6.5	6.4	9.1
3.81	0.150		241	11.9			211	10.4			201	10.0		
5.09	0.200	104.0	305	15.1	15.1	14.5	264	13.1	13.0	12.5	247	12.2	12.2	11.7

OBSERVACIONES:

Ing. Ramiro Zenon Culimbo Chacalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



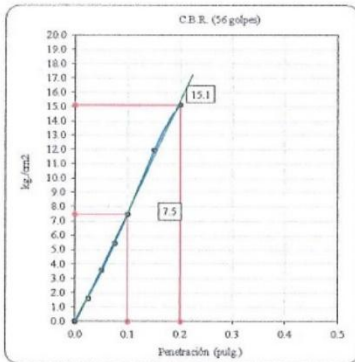


LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
ASTM D1883	
REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR	
<b>PROYECTO</b>	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA
<b>SOLICITA</b>	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ
<b>UBICACIÓN</b>	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno
<b>MATERIAL</b>	CALICATA 01 + 4% CAL
<b>REVISADO</b>	R.Z.C.Ch.
<b>TECNICO</b>	R.Y.J.V.
<b>FECHA</b>	Mayo del 2025
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA	
ASTM D1883	

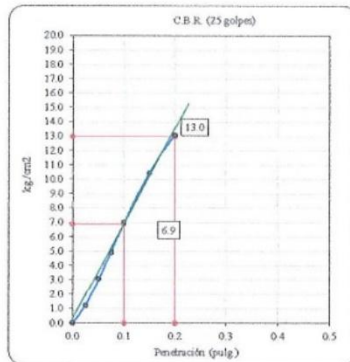
**Datos de muestra**

Máxima Densidad Seca 1.66 gr/cm<sup>3</sup>  
 Máxima Densidad Seca al 95% 1.58 gr/cm<sup>3</sup>

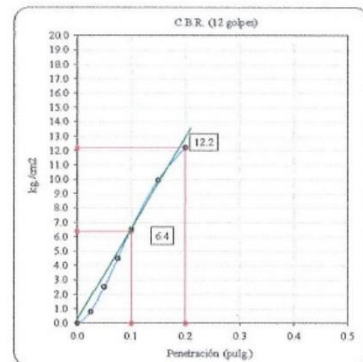
Optimo Contenido de Humedad 15.40 %



C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : 10.7 %

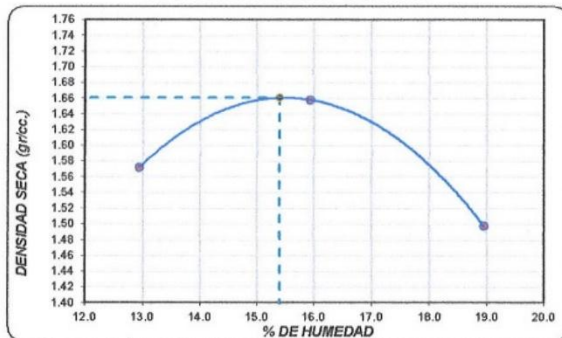


C.B.R. (0.1") 25 GOLPES : 9.8 %



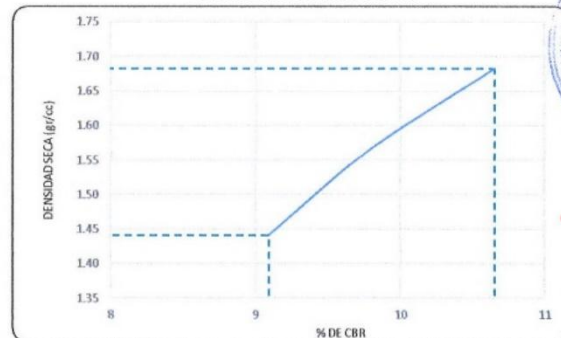
C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : 9.1 %

**CURVA DE COMPACTACIÓN - ASTM D1557**



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1": 10.7 %  
 C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.1": 9.1 %

**CURVA CBR Vs DENSIDAD SECA**



Ing. Ronald Yon Janampa Velasquez  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

(ASTM D-4318, NTP 339.129, MTC E 110/111)

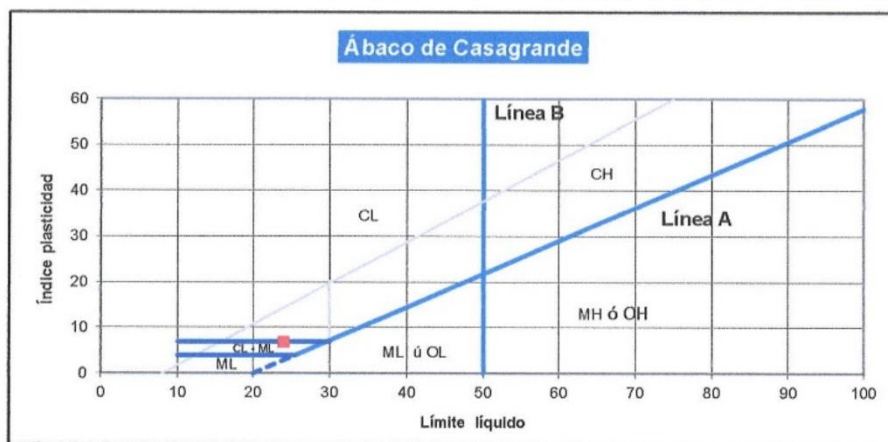
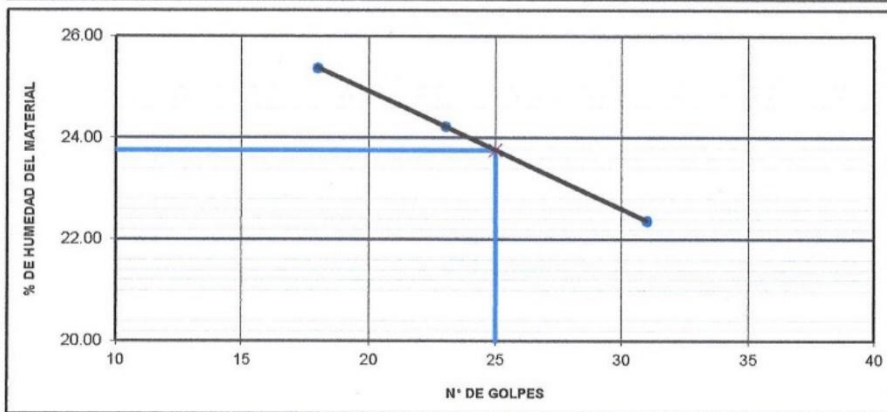
#### LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO / OBRA : "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.70 m
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	REVISADO	: R.Z.C.CH.
MATERIAL	: CALICATA 01 + 6% CAL	TECNICO	: R.Y.J.V.
		FECHA ANALISIS	: Mayo del 2025

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	S-11	S-91	Q-01	L-19	F-90
Nº. DE CAPSULA					
MASA TARA + SUELO HUMEDO (A)	34.16	33.28	31.79	19.33	18.42
MASA TARA + SUELO SECO (B)	31.14	29.65	29.15	17.49	16.99
MASA DE LA TARA (C)	19.24	14.67	17.35	7.21	8.13
MASA DEL AGUA (A-B)	3.02	3.63	2.64	1.84	1.43
MASA SUELO SECO (B-C)	11.90	14.98	11.80	10.28	8.86
HUMEDAD [W=(A-B)/(B-C)*100	25.38	24.23	22.37	17.90	16.14
Nº DE GOLPES	18	23	31		

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
23.99	17.02	7.0

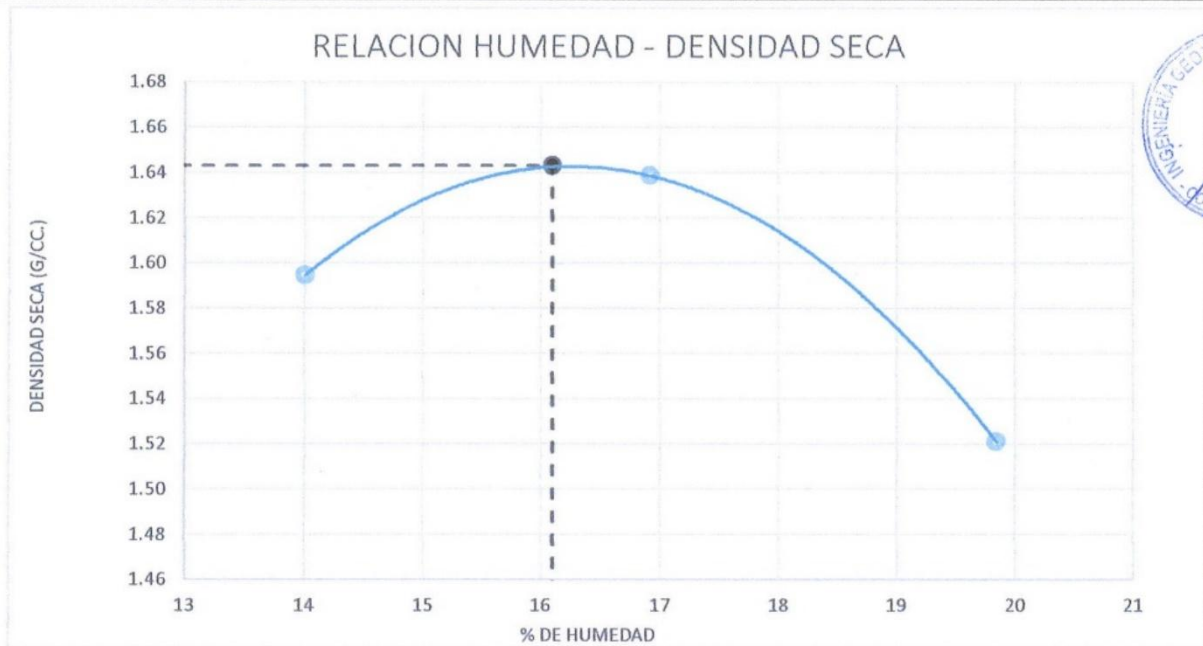


Prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Kenia Zenon Cutimbo Chocalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS					
ASTM D1557					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO					
PROYECTO	:	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA"			
SOLICITA	:	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	REVISADO	:	R.Z.C.Ch.
UBICACIÓN	:	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	TECNICO	:	R.Y.J.V.
MATERIAL	:	CALICATA 01 + 6% CAL	FECHA	:	Mayo del 2025
Molde N°	001	Método de compactación	"C"		
Volumen Molde	2043 cm <sup>3</sup>	N° de capas	: 05		
Masa del Molde	6561 gr	N° de golpes por capa	: 56		
Determinación	N°	01	02	03	
Masa del molde y Muestra	g	10275	10475	10285	
Masa del molde	g	6561	6561	6561	
Masa de la muestra compactada	g	3714	3914	3724	
Densidad húmeda	g/cc	1.818	1.92	1.82	
Densidad seca	g/cc	1.59	1.64	1.52	
Contenido de Humedad					
Recipiente	N°	K-105	A-912	X-121	
Masa del Recipiente	g	19.5	17.8	18.6	
Masa del Recipiente + Suelo húmedo	g	101.1	106.4	108.5	
Masa del Recipiente + Suelo seco	g	91.1	93.6	93.6	
Masa de agua	g	10.0	12.8	14.9	
Masa del suelo seco	g	71.7	75.8	74.9	
Contenido de humedad	%	14.0	16.9	19.8	
Promedio		14.0	16.9	19.8	
<b>DENSIDAD MAXIMA :</b>		<b>1.64</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD:</b>	<b>16.10</b> %



### OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Rimsy Zenon Cuzimto Chocalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

ASTM D1883

#### VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA -CBR

PROYECTO	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA		
SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	REVISADO	: R.Z.C.Ch.
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	TECNICO	: R.Y.J.V.
MATERIAL	: CALICATA 01 + 6% CAL	FECHA	: Mayo del 2025

#### CALCULO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

	019	020	021
Molde	019	020	021
Numero de capas	05	05	05
Numero de golpes	56	25	12

Condicion de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
Masa suelo humedo + molde	12181	12219	11651	11739	11241	11345
Masa molde g	8127	8127	8060	8060	7940	7940
Masa del Suelo humedo g	4054	4092	3591	3679	3301	3405
Volumen del molde g	2125	2125	2064	2064	2088	2088
Densidad humeda g/cm <sup>3</sup>	1.91	1.93	1.74	1.78	1.58	1.63
Recipiente N°						
Recipiente + suelo humedo g	87.3	91.4	88.5	93.6	95.9	99.8
Recipiente + suelo seco g	77.3	80.8	79.0	82.3	84.6	87.6
Masa del agua g	10.0	10.6	9.5	11.3	11.3	12.2
Masa de recipiente g	15.3	17.5	19.7	17.3	14.2	19.3
Masa del suelo seco g	62.0	63.4	59.3	65.0	70.3	68.3
Contenido de humedad %	16.1	16.7	16.1	17.4	16.1	17.9
Promedio de humedad	16.1	16.7	16.1	17.4	16.1	17.9
Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	1.64	1.65	1.50	1.52	1.36	1.38



#### Penetración

PENETRACIÓN		Carga Estándar	Molde		019		Molde		020		Molde		021	
mm.	pulg.	kg/cm <sup>2</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %
0.00	0.000		0	0.00			0	0.0			0	0.00		
0.63	0.025		43	2.1			38	1.9			21	1.0		
1.27	0.050		81	4.0			73	3.6			58	2.9		
1.91	0.075		124	6.1			111	5.5			100	5.0		
2.54	0.100	70.4	177	8.8	8.7	12.4	159	7.9	7.8	11.1	144	7.1	7.2	10.2
3.81	0.150		281	13.9			243	12.0			219	10.8		
5.09	0.200	104.0	372	18.4	18.5	17.8	314	15.5	15.7	15.1	288	14.3	14.3	13.8

OBSERVACIONES:

Ing. Rinsky Zenon Cuzumbe Chocalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

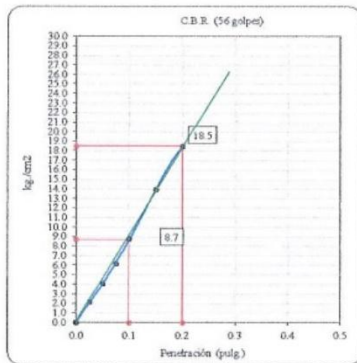


LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
ASTM D1893	
REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR	
PROYECTO :	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITA :	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ
UBICACIÓN :	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno
MATERIAL :	CALICATA 01 + 6% CAL
REVISADO :	R.Z.C.Ch.
TECNICO :	R.Y.J.V.
FECHA :	Mayo del 2025
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA	
ASTM D1893	

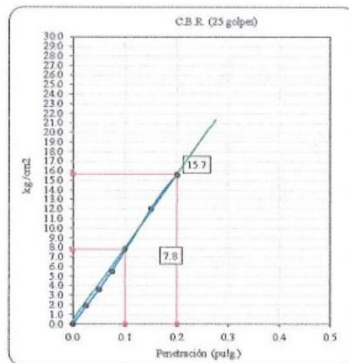
### Datos de muestra

Máxima Densidad Seca 1.64 gr./cm<sup>3</sup>  
 Máxima Densidad Seca al 95% 1.56 gr./cm<sup>3</sup>

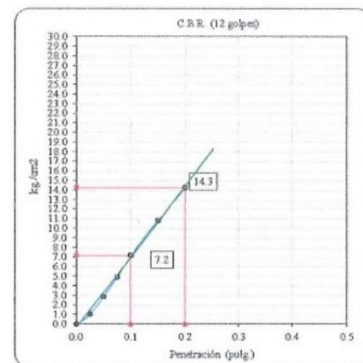
Optimo Contenido de Humedad 16.10 %



C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : 12.4 %

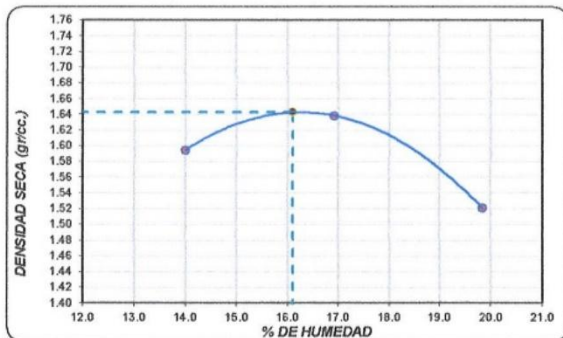


C.B.R. (0.1") 25 GOLPES : 11.1 %



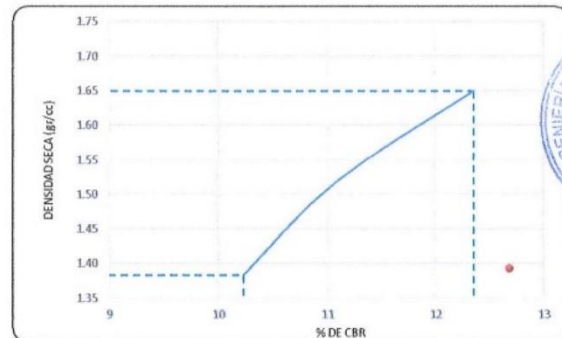
C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : 10.2 %

### CURVA DE COMPACTACIÓN - ASTM D1557



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1": 12.4 %  
 C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.1": 10.2 %

### CURVA CBR Vs DENSIDAD SECA



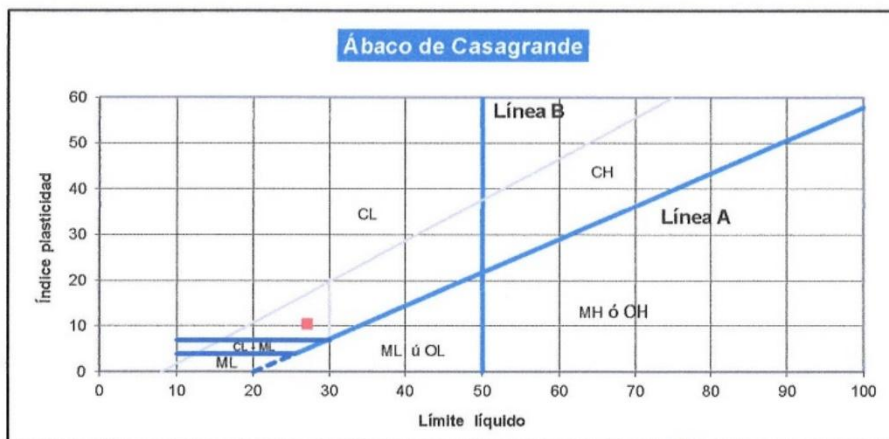
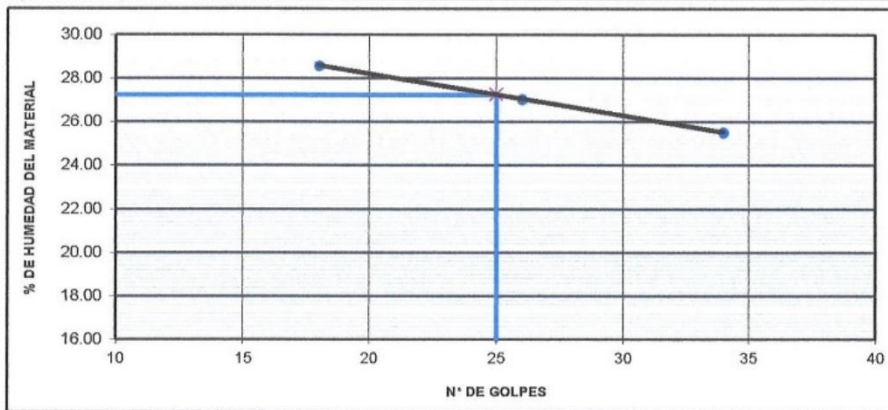
Ing. Kimmy Zenon Cuzco Chacalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS			
(ASTMD-4318, NTP 339.129, MTC E 110/111)			
LIMITES DE CONSISTENCIA			
PROYECTO / OBRA :	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA		
SOLICITA :	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	PROFUNDIDAD :	0.20 - 1.70 m
UBICACIÓN :	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	REVISADO :	R.Z.C.CH.
MATERIAL :	CALICATA 01 + 3% CEMENTO	TECNICO :	R.Y.J.V.
		FECHA ANALISIS :	Mayo del 2025

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	S-251	A-301	S-300	K-99	K-56
MASA TARA + SUELO HUMEDO (A)	38.11	39.22	38.57	15.86	17.44
MASA TARA + SUELO SECO (B)	33.24	33.91	33.59	14.63	16.11
MASA DE LA TARA (C)	16.21	14.28	14.09	7.19	8.07
MASA DEL AGUA (A-B)	4.87	5.31	4.98	1.23	1.33
MASA SUELO SECO (B-C)	17.03	19.63	19.50	7.44	8.04
HUMEDAD $[W=(A-B)/(B-C)*100]$	28.60	27.05	25.54	16.53	16.54
N° DE GOLPES	18	26	34		

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
27.06	16.54	10.5



Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - G.C. COMPANY S.A.C.

Ing. Rimsky Zeon Cutimbo Chocalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



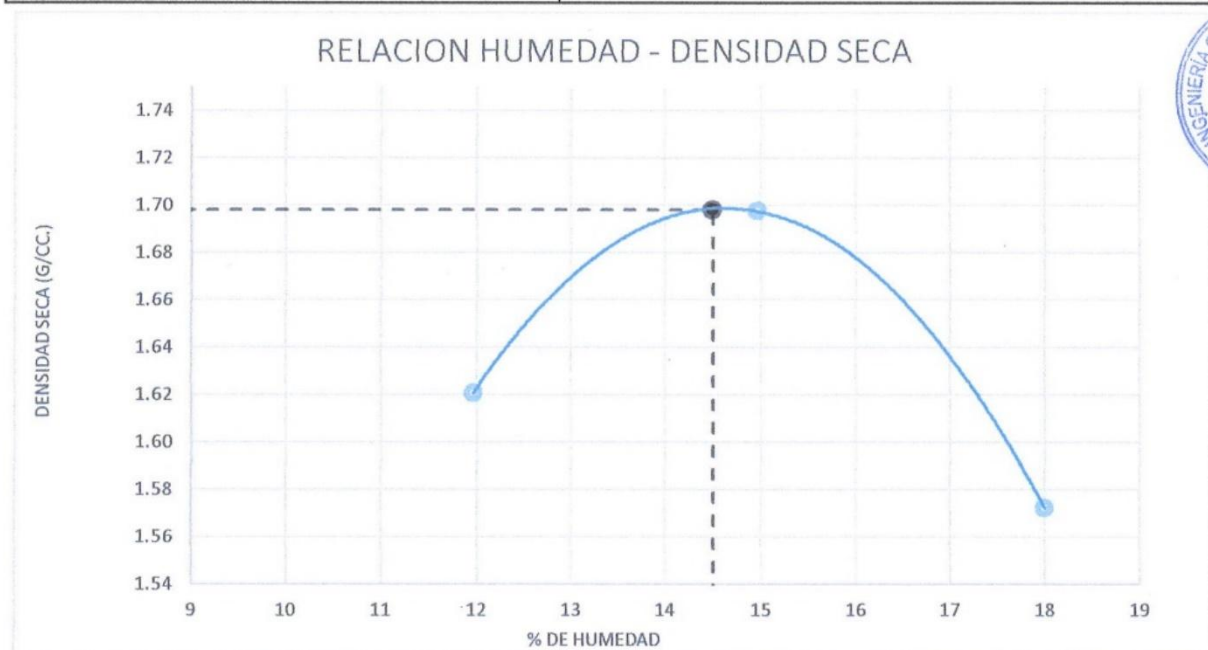


LABORATORIO MECANICA DE SUELOS			
ASTM D1557			
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO			
PROYECTO	:	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA	
SOLICITA	:	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	REVISADO : R.Z.C.Ch.
UBICACIÓN	:	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	TECNICO : R.Y.J.V.
MATERIAL	:	CALICATA 01 + 3% CEMENTO	FECHA : Mayo del 2025

Molde N°	001	Método de compactación	"C"
Volumen Molde	2043 cm <sup>3</sup>	N° de capas	: 05
Masa del Molde	6561 gr	N° de golpes por capa	: 56

Determinación	N°	01	02	03		
Masa del molde y Muestra	g	10268	10548	10351		
Masa del molde	g	6561	6561	6561		
Masa de la muestra compactada	g	3707	3987	3790		
Densidad húmeda	g/cc	1.814	1.95	1.86		
Densidad seca	g/cc	1.62	1.70	1.57		

Contenido de Humedad						
Recipiente	N°	S-21	S-66	R.65		
Masa del Recipiente	g	15.9	18.2	16.3		
Masa del Recipiente + Suelo húmedo	g	99.1	100.9	97.2		
Masa del Recipiente + Suelo seco	g	90.3	90.1	84.8		
Masa de agua	g	8.9	10.8	12.3		
Masa del suelo seco	g	74.3	71.9	68.6		
Contenido de humedad	%	12.0	15.0	18.0		
Promedio		12.0	15.0	18.0		
<b>DENSIDAD MAXIMA :</b>		<b>1.70</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD:</b>		<b>14.50</b> %



### OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Ramsky Zanon Cutimbo Casavilla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

ASTM D1883

#### VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA -CBR

**PROYECTO** : "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VIAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

**SOLICITA** : Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ **REVISADO** : R.Z.C.Ch.

**UBICACIÓN** : Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno **TECNICO** : R.Y.J.V.

**MATERIAL** : CALICATA 01 + 3% CEMENTO **FECHA** : Mayo del 2025

#### CALCULO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

	051	052	053
Molde	051	052	053
Numero de capas	05	05	05
Numero de golpes	56	25	12

Condicion de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
Masa suelo humedo + molde	12001	12116	11514	11635	11014	11145
Masa molde g	7890	7890	7870	7870	7940	7940
Masa del Suelo humedo g	4111	4226	3644	3765	3074	3205
Volumen del molde g	2116	2116	2113	2113	2088	2088
Densidad humeda g/cm <sup>3</sup>	1.94	2.00	1.72	1.78	1.47	1.53
Recipiente N°						
Recipiente + suelo humedo g	88.2	89.6	90.8	91.4	87.1	94.8
Recipiente + suelo seco g	78.8	80.3	81.4	80.8	78.5	84.0
Masa del agua g	9.3	9.3	9.3	10.5	8.5	10.8
Masa de recipiente g	14.2	18.5	17.1	14.2	19.6	17.8
Masa del suelo seco g	64.6	61.8	64.3	66.7	58.9	66.2
Contenido de humedad %	14.5	15.1	14.5	15.8	14.5	16.3
Promedio de humedad	14.5	15.1	14.5	15.8	14.5	16.3
Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	1.70	1.73	1.51	1.54	1.29	1.32



#### Penetración

PENETRACIÓN		Carga Estándar	Molde		051		Molde		052		Molde		053	
mm.	pulg.	kg/cm <sup>2</sup>	Carga	Corrección	Carga	Corrección	Carga	Corrección	Carga	Corrección	Carga	Corrección	Carga	Corrección
0.00	0.000		0	0.00			0	0.0			0	0.00		
0.63	0.025		41	2.0			25	1.2			14	0.7		
1.27	0.050		69	3.4			56	2.8			41	2.0		
1.91	0.075		101	5.0			92	4.6			71	3.5		
2.54	0.100	70.4	141	7.0	6.9	9.8	124	6.1	6.2	8.8	105	5.2	5.3	7.5
3.81	0.150		229	11.3			191	9.5			159	7.9		
5.09	0.200	104.0	301	14.9	15.0	14.4	248	12.3	12.3	11.8	201	10.0	10.0	9.6

OBSERVACIONES:

Ing. Ransky Zenon Cutimbo Chocolla  
CIP. 177165  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



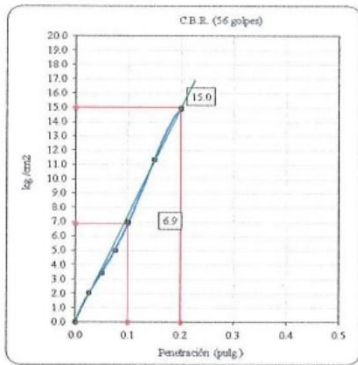


LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
ASTM D1883	
REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR	
PROYECTO :	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITA :	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ
UBICACIÓN :	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno
MATERIAL :	CALICATA 01 + 3% CEMENTO
REVISADO :	R.Z.C.Ch.
TECNICO :	R.Y.J.V.
FECHA :	Mayo del 2025
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA	
ASTM D1883	

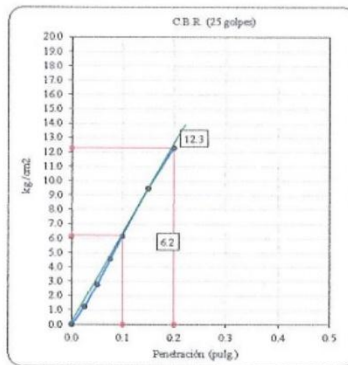
### Datos de muestra

Máxima Densidad Seca \_\_\_\_\_ 1.70 gr/cm<sup>3</sup>  
 Máxima Densidad Seca al 95% \_\_\_\_\_ 1.61 gr/cm<sup>3</sup>

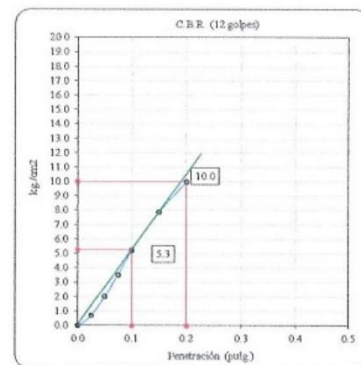
Óptimo Contenido de Humedad \_\_\_\_\_ 14.50 %



C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : 9.8 %

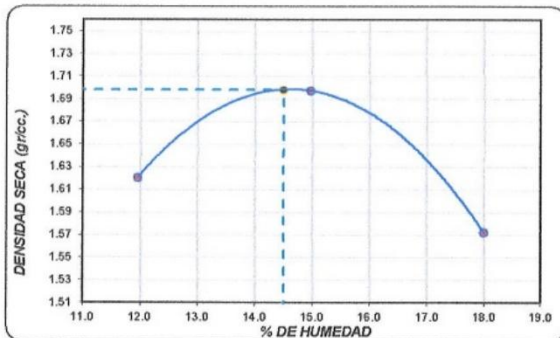


C.B.R. (0.1") 25 GOLPES : 8.8 %



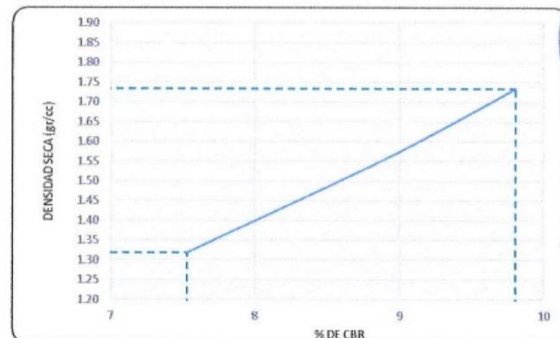
C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : 7.5 %

### CURVA DE COMPACTACIÓN - ASTM D1557



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1": 9.8 %  
 C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.1": 7.5 %

### CURVA CBR Vs DENSIDAD SECA



Ing. Ronald Yon Janampa Velasquez  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

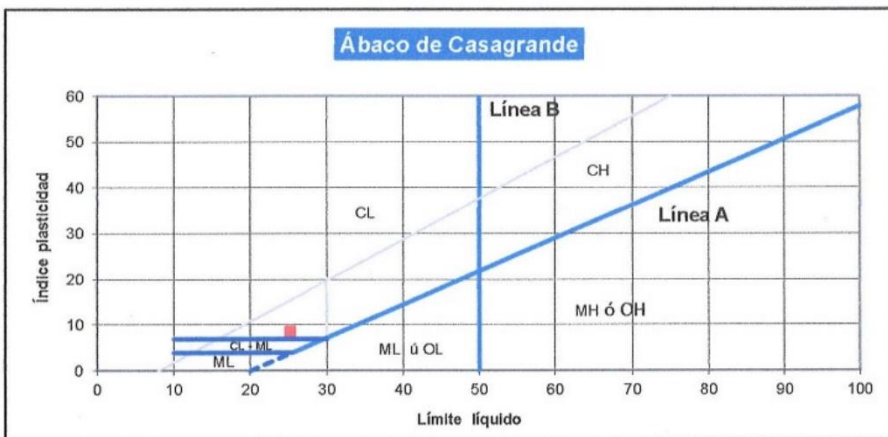
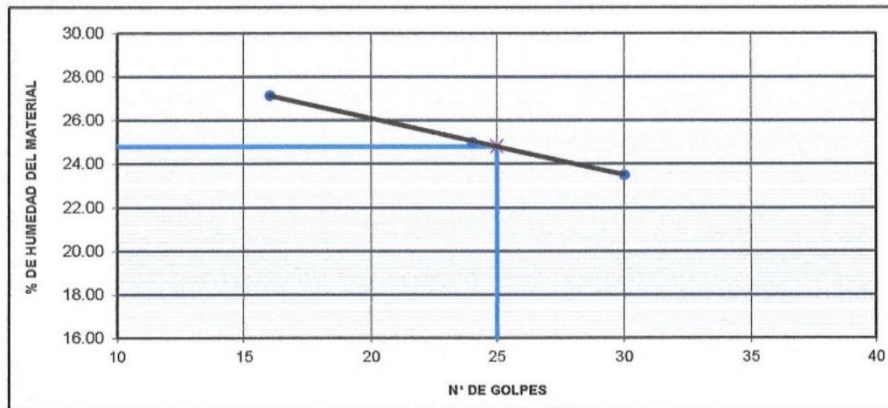




LABORATORIO MECANICA DE SUELOS			
(ASTM D-4318, NTP 339.129, MTC E 110/111)			
LIMITES DE CONSISTENCIA			
<b>PROYECTO / OBRA :</b> "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA			
<b>SOLICITA</b>	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.20 - 1.70 m
<b>UBICACIÓN</b>	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	<b>REVISADO</b>	: R.Z.C.CH.
<b>MATERIAL</b>	: CALICATA 01 + 5% CEMENTO	<b>TECNICO</b>	: R.Y.J.V.
		<b>FECHA ANALISIS</b>	: Mayo del 2025

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	T-110	S-321	A-102	S-31	R-07
Nº DE CAPSULA					
MASA TARA + SUELO HUMEDO (A)	39.14	34.82	38.46	17.24	19.36
MASA TARA + SUELO SECO (B)	34.51	30.91	34.82	15.85	17.91
MASA DE LA TARA (C)	17.46	15.28	19.34	8.33	8.01
MASA DEL AGUA (A-B)	4.63	3.91	3.64	1.39	1.45
MASA SUELO SECO (B-C)	17.05	15.63	15.48	7.52	9.90
HUMEDAD $[W=(A-B)/(B-C)*100]$	27.16	25.02	23.51	18.48	14.65
Nº DE GOLPES	16	24	30		

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
25.23	16.57	8.7



Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

**Ronald Yon Janampa Velasquez**  
CIP. 177165  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS						
ASTM D1557						
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO						
PROYECTO	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA"					
SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ			REVISADO	: R.Z.C.Ch.	
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno			TECNICO	: R.Y.J.V.	
MATERIAL	: CALICATA 01 + 5% CEMENTO			FECHA	: Mayo del 2025	
Molde N°	001	Método de compactación		"C"		
Volumen Molde	2043 cm <sup>3</sup>	N° de capas		: 05		
Masa del Molde	6561 gr	N° de golpes por capa		: 56		
Determinación	N°	01	02	03		
Masa del molde y Muestra	g	10232	10508	10483		
Masa del molde	g	6561	6561	6561		
Masa de la muestra compactada	g	3671	3947	3922		
Densidad húmeda	g/cc	1.797	1.93	1.92		
Densidad seca	g/cc	1.60	1.68	1.63		
Contenido de Humedad						
Recipiente	N°	R-21	X-44	A-04		
Masa del Recipiente	g	16.3	17.2	18.3		
Masa del Recipiente + Suelo húmedo	g	101.5	104.2	100.7		
Masa del Recipiente + Suelo seco	g	92.4	92.9	88.1		
Masa de agua	g	9.1	11.3	12.6		
Masa del suelo seco	g	76.1	75.7	69.8		
Contenido de humedad	%	12.0	14.9	18.0		
Promedio		12.0	14.9	18.0		
<b>DENSIDAD MAXIMA :</b>		<b>1.68</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD:</b>	<b>15.10</b>	<b>%</b>



### OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Rimsy Zenon Cuzimbo Chocalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

ASTM D1883

#### VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA -CBR

PROYECTO	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA		
SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	REVISADO	: R.Z.C.Ch.
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	TECNICO	: R.Y.J.V.
MATERIAL	: CALICATA 01 + 5% CEMENTO	FECHA	: Mayo del 2025

#### CALCULO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

Molde	054	055	056
Numero de capas	05	05	05
Numero de golpes	56	25	12

Condicion de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
Masa suelo humedo + molde	11989	12095	11841	11957	11211	11351
Masa molde g	7887	7887	8197	8197	7879	7879
Masa del Suelo humedo g	4102	4208	3644	3760	3332	3472
Volumen del molde g	2119	2119	2112	2112	2099	2099
Densidad humeda g/cm <sup>3</sup>	1.94	1.99	1.73	1.78	1.59	1.65
Recipiente N°						
Recipiente + suelo humedo g	99.2	97.1	95.2	92.3	98.7	93.7
Recipiente + suelo seco g	88.2	86.1	85.1	81.4	87.6	81.7
Masa del agua g	10.9	11.1	10.2	10.9	11.1	12.0
Masa de recipiente g	15.6	19.5	17.5	18.3	14.4	15.2
Masa del suelo seco g	72.6	66.6	67.6	63.2	73.3	66.5
Contenido de humedad %	15.1	16.6	15.1	17.3	15.1	18.0
Promedio de humedad	15.1	16.6	15.1	17.3	15.1	18.0
Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	1.68	1.70	1.50	1.52	1.38	1.40



#### Penetración

PENETRACIÓN		Carga Estándar	Molde		054		Molde		055		Molde		056	
mm.	pulg.	kg/cm <sup>2</sup>	Carga	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	Carga	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	Carga	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %
0.00	0.000		0	0.00			0	0.0			0	0.00		
0.63	0.025		46	2.3			36	1.8			21	1.0		
1.27	0.050		81	4.0			64	3.2			51	2.5		
1.91	0.075		121	6.0			101	5.0			90	4.5		
2.54	0.100	70.4	156	7.7	7.7	10.9	139	6.9	6.9	9.8	126	6.2	6.3	8.9
3.81	0.150		251	12.4			214	10.6			194	9.6		
5.09	0.200	104.0	336	16.6	16.6	16.0	275	13.6	13.6	13.1	248	12.3	12.3	11.8

OBSERVACIONES:

Ing. Zenon Chucho Choclla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

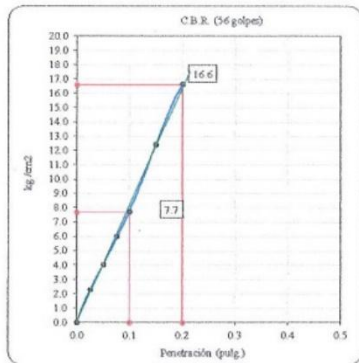


LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
ASTM D1883	
REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR	
PROYECTO :	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITA :	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ
UBICACIÓN :	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno
MATERIAL :	CALICATA 01 + 5% CEMENTO
REVISADO :	R.Z.C.Ch.
TECNICO :	R.Y.J.V.
FECHA :	Mayo del 2025
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA	
ASTM D1883	

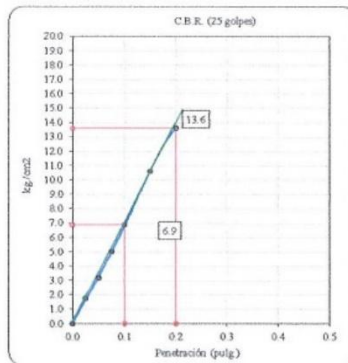
#### Datos de muestra

Máxima Densidad Seca 1.68 gr/cm<sup>3</sup>  
 Máxima Densidad Seca al 95% 1.60 gr/cm<sup>3</sup>

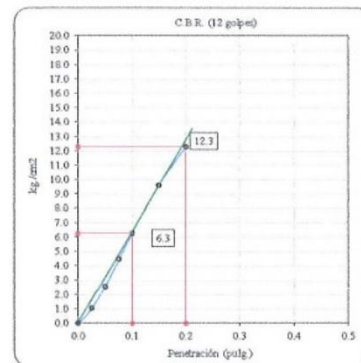
Óptimo Contenido de Humedad 15.10 %



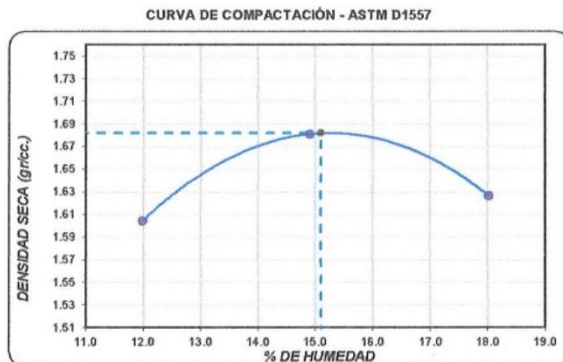
C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : 10.9 %



C.B.R. (0.1") 25 GOLPES : 9.8 %



C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : 8.9 %



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1": 10.9 %  
 C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.1": 8.9 %



Ing. Ransky Zenon Colimbo Chocalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

(ASTMD-4318, NTP 339.129, MTC E 110/111)

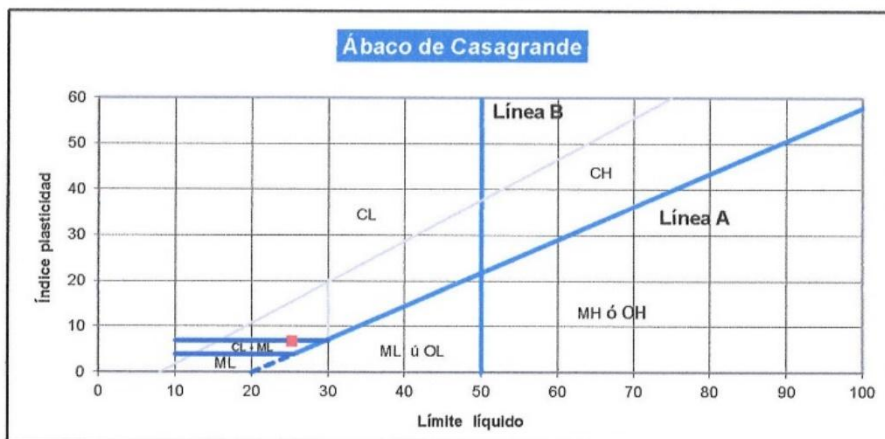
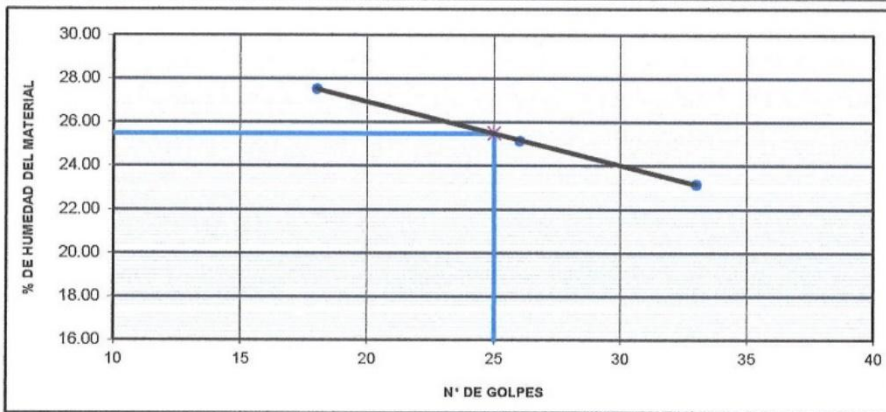
#### LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO / OBRA : "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.70 m
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	REVISADO	: R.Z.C.CH.
MATERIAL	: CALICATA 01 + 7% CEMENTO	TECNICO	: R.Y.J.V.
		FECHA ANALISIS	: Mayo del 2025

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	H-545	X-214	Z-252	V-14	P-791
Nº. DE CAPSULA					
MASA TARA + SUELO HUMEDO (A)	34.16	31.58	35.79	15.62	17.45
MASA TARA + SUELO SECO (B)	29.84	28.32	32.46	14.44	15.89
MASA DE LA TARA (C)	14.16	15.36	18.09	7.44	8.15
MASA DEL AGUA (A-B)	4.32	3.26	3.33	1.18	1.56
MASA SUELO SECO (B-C)	15.68	12.96	14.37	7.00	7.74
HUMEDAD $W=(A-B)/(B-C)*100$	27.55	25.15	23.17	16.86	20.16
Nº DE GOLPES	18	26	33		

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
25.29	18.51	6.8



Prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

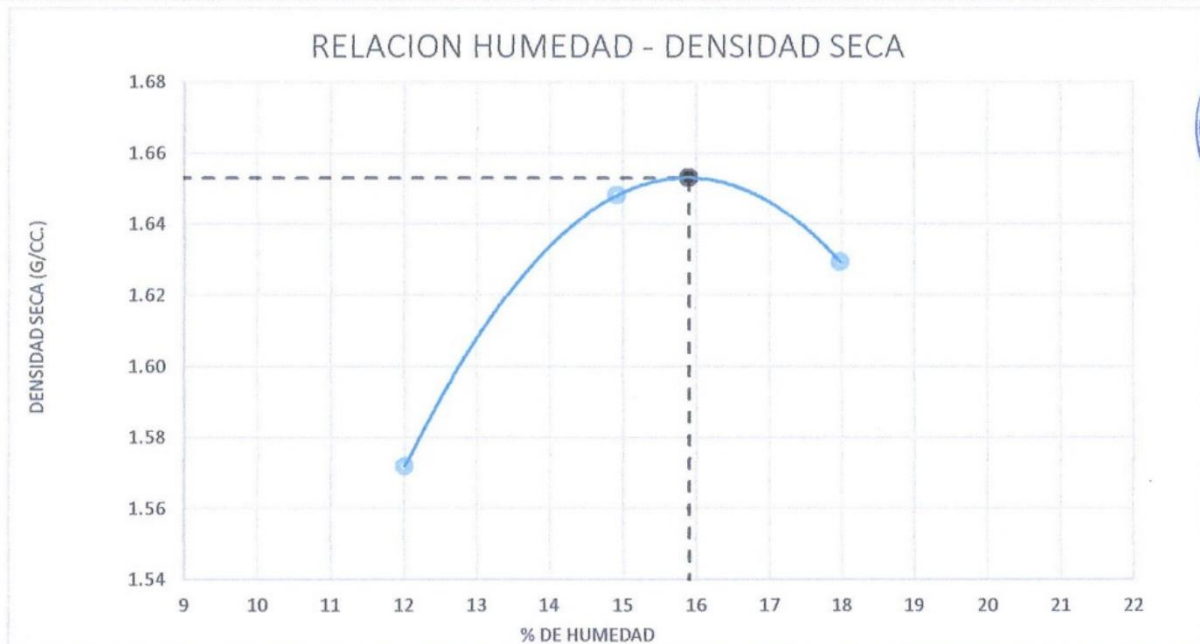


*[Signature]*  
 Ing. Kimsky Zenon Cuzco Chocalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA





LABORATORIO MECANICA DE SUELOS						
ASTM D1557						
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO						
<b>PROYECTO</b>	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA					
<b>SOLICITA</b>	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ			<b>REVISADO</b>	: R.Z.C.Ch.	
<b>UBICACIÓN</b>	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno			<b>TECNICO</b>	: R.Y.J.V.	
<b>MATERIAL</b>	: CALICATA 01 + 7% CEMENTO			<b>FECHA</b>	: Mayo del 2025	
Molde N°	001	Método de compactación		"C"		
Volumen Molde	2043 cm <sup>3</sup>	N° de capas		: 05		
Masa del Molde	6561 gr	N° de golpes por capa		: 56		
Determinación	N°	01	02	03		
Masa del molde y Muestra	g	10158	10431	10488		
Masa del molde	g	6561	6561	6561		
Masa de la muestra compactada	g	3597	3870	3927		
Densidad húmeda	g/cc	1.761	1.89	1.92		
Densidad seca	g/cc	1.57	1.65	1.63		
Contenido de Humedad						
Recipiente	N°	L-55	R-85	Q-33		
Masa del Recipiente	g	14.2	17.3	19.9		
Masa del Recipiente + Suelo húmedo	g	99.1	100.8	96.3		
Masa del Recipiente + Suelo seco	g	90.0	89.9	84.7		
Masa de agua	g	9.1	10.9	11.7		
Masa del suelo seco	g	75.9	72.7	64.8		
Contenido de humedad	%	12.0	14.9	18.0		
Promedio		12.0	14.9	18.0		
<b>DENSIDAD MAXIMA :</b>	<b>1.65</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD:</b>		<b>15.90</b>	<b>%</b>



### OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Ramsky Zenon Quimbo Checalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

ASTM D1883

#### VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA -CBR

<b>PROYECTO</b>	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA		
<b>SOLICITA</b>	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	<b>REVISADO</b>	: R.Z.C.Ch.
<b>UBICACIÓN</b>	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	<b>TECNICO</b>	: R.Y.J.V.
<b>MATERIAL</b>	: CALICATA 01 + 7% CEMENTO	<b>FECHA</b>	: Mayo del 2025

#### CALCULO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

Molde	057	058	059
Numero de capas	05	05	05
Numero de golpes	56	25	12

Condicion de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
Masa suelo humedo + molde	12345	12429	11795	11889	11245	11354
Masa molde	8326	8326	8337	8337	8127	8127
Masa del Suelo humedo	4019	4103	3458	3552	3118	3227
Volumen del molde	2098	2098	2149	2149	2125	2125
Densidad humeda	1.92	1.96	1.61	1.65	1.47	1.52
Recipiente	Nº					
Recipiente + suelo humedo	82.6	89.2	91.6	86.4	82.5	90.9
Recipiente + suelo seco	73.2	79.0	81.6	76.1	73.8	80.0
Masa del agua	9.4	10.1	10.0	10.3	8.7	10.9
Masa de recipiente	14.4	17.5	18.4	14.9	19.3	17.4
Masa del suelo seco	58.9	61.6	63.1	61.2	54.5	62.6
Contenido de humedad	15.9	16.5	15.9	16.9	15.9	17.4
Promedio de humedad	15.9	16.5	15.9	16.9	15.9	17.4
Densidad seca	1.65	1.68	1.39	1.41	1.27	1.29



#### Penetración

PENETRACIÓN		Carga Estándar	Molde		057		Molde		058		Molde		059	
mm.	pulg.	kg/cm <sup>2</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %
0.00	0.000		0	0.00			0	0.0			0	0.00		
0.63	0.025		54	2.7			41	2.0			25	1.2		
1.27	0.050		94	4.7			72	3.6			61	3.0		
1.91	0.075		141	7.0			114	5.6			100	5.0		
2.54	0.100	70.4	187	9.3	9.2	13.1	169	8.4	8.3	11.8	149	7.4	7.5	10.7
3.81	0.150		289	14.3			262	13.0			241	11.9		
5.09	0.200	104.0	389	19.3	19.3	18.6	352	17.4	17.3	16.6	311	15.4	15.4	14.8

OBSERVACIONES:

CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

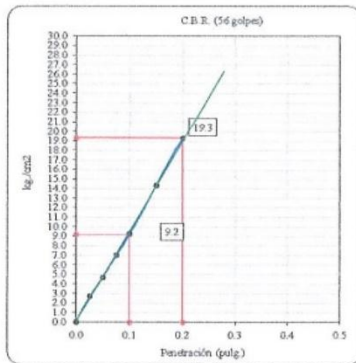


LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
ASTM D1883	
REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR	
PROYECTO :	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITA :	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ
UBICACIÓN :	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno
MATERIAL :	CALICATA 01 + 7% CEMENTO
REVISADO :	R.Z.C.Ch.
TECNICO :	R.Y.J.V.
FECHA :	Mayo del 2025
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA	
ASTM D1883	

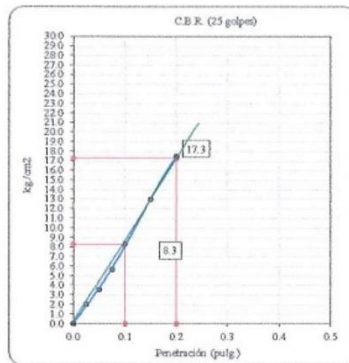
#### Datos de muestra

Máxima Densidad Seca 1.65 gr./cm<sup>3</sup>  
 Máxima Densidad Seca al 95% 1.57 gr./cm<sup>3</sup>

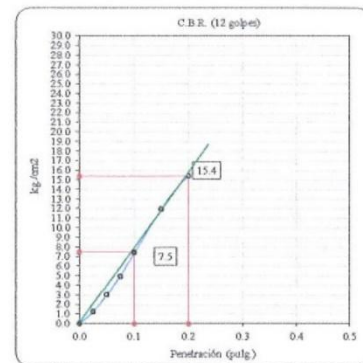
Optimo Contenido de Humedad 15.90 %



C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : 13.1 %

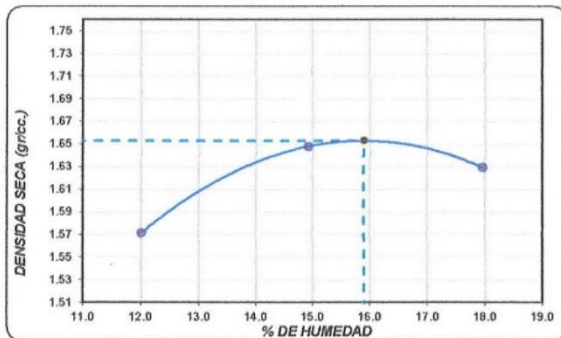


C.B.R. (0.1") 25 GOLPES : 11.8 %



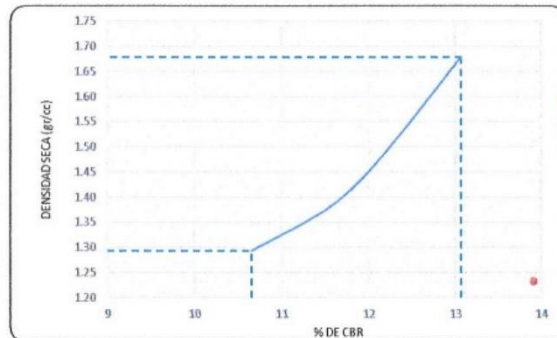
C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : 10.7 %

#### CURVA DE COMPACTACIÓN - ASTM D1557



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1": 13.1 %  
 C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.1": 10.7 %

#### CURVA CBR Vs DENSIDAD SECA



Ing. Rinsky Zeno Cutimbo Checulla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

(ASTM D422, NTP 339.128, MTC E 107)

#### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PROYECTO / OBRA : "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITA : Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ  
UBICACIÓN : Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno  
CALICATA : Cal - 02

PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.60 m  
REVISADO : R.Z.C.CH.  
TECNICO : R.Y.J.V.  
FECHA ANALISIS : Mayo del 2025

Peso Inicial Seco : 2431

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)
3"	76.2	0.00
2"	50.8	0.00
1 1/2"	38.1	0.00
1"	25.4	0.00
3/4"	19	0.00
3/8"	9.5	0.00
N° 4	4.75	2.00

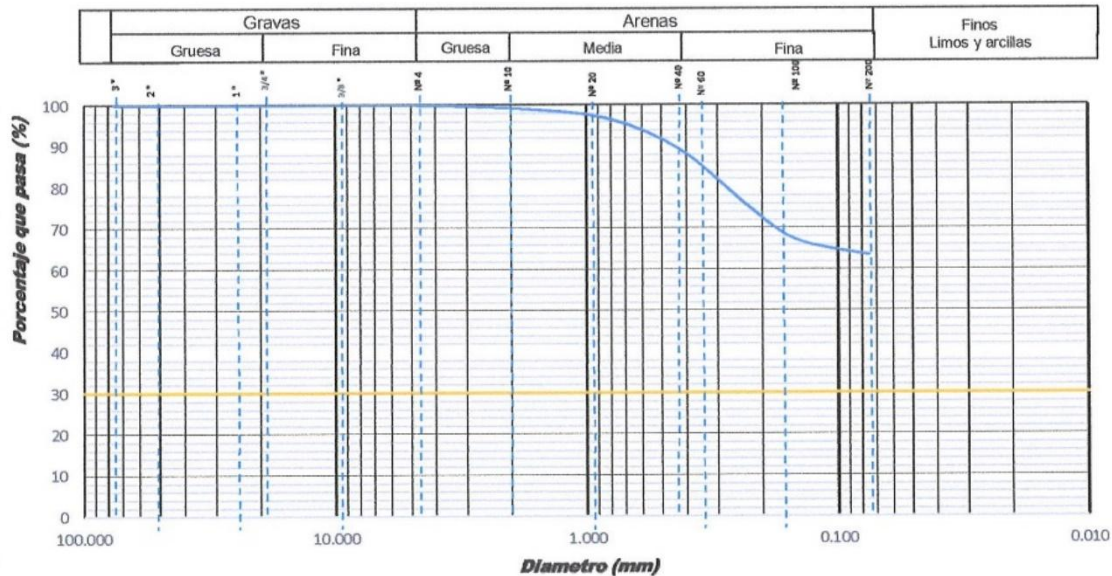
Peso malla < N° 4 : 502.20

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)
N° 10	2.000	3.3
N° 20	0.840	12.0
N° 40	0.425	38.3
N° 60	0.250	58.9
N° 100	0.150	50.8
N° 200	0.075	19.5
< N° 200	—	319.4

GENERALIDADES	
Clasificación Visual Manual	—
Notas sobre la muestra	
Nivel freático	NP
Tamizado compuesto	Si
Tamiz separador	N° 4
Método de tamizado	Manual
RESULTADOS DE ENSAYOS	
Humedad Natural	21.3 %
Límite líquido	33.8
Límite plástico	20.3
Índice plástico	13.4
COMPOSICIÓN FÍSICA DEL SUELO EN FUNCIÓN AL TAMAÑO DE PARTICULAS	
Grava (N° 4 < φ < 3")	0.1
Arena (N° 200 < φ < N° 4)	36.4
Finos (φ < N° 200)	63.5
Tamaño máx. de la grava (pulg)	.....
Forma del suelo grueso	.....
CLASIFICACION DEL SUELO	
AASHTO	A-6
SUCS	ML
NOMBRE DEL GRUPO	Limos inorganicos con arcilla

N° DE MALLAS	ABERTURA DE MALLAS (mm)	% RETEN PARCIAL	% RETEN. ACUMUL	% QUE PASA
3"	76.200	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.750	0.08	0.08	99.92
N° 10	2.000	0.66	0.74	99.26
N° 20	0.840	2.39	3.13	96.87
N° 40	0.425	7.62	10.75	89.25
N° 60	0.250	11.72	22.47	77.53
N° 100	0.150	10.11	32.58	67.42
N° 200	0.075	3.88	36.46	63.54
< N° 200		63.54	100.00	0.00

#### CURVA GRANULOMETRICA



Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Rimsy Zenon Cuitimbo Chocalla  
CIP. 177165  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

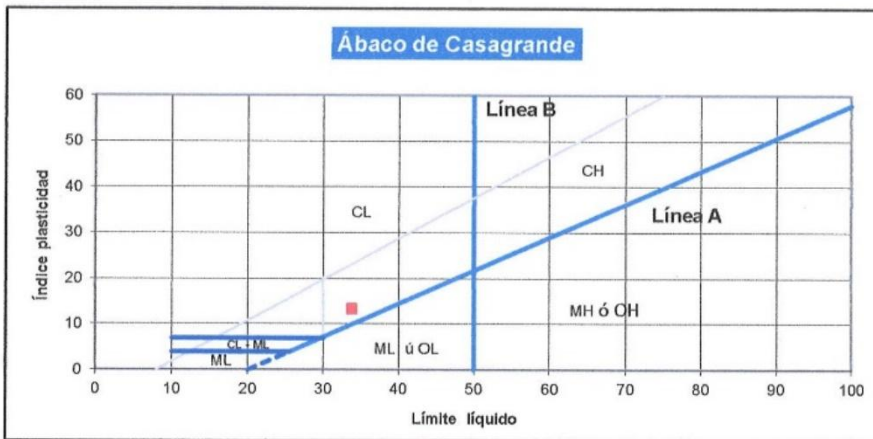
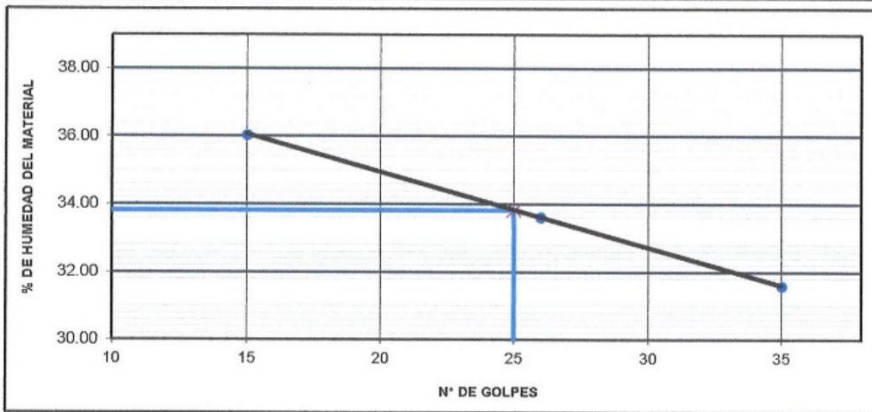
(ASTM D-4318, NTP 339.129, MTC E 110/111)

#### LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO / OBRA :	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA		
SOLICITA :	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	PROFUNDIDAD :	0.20 - 1.60 m
UBICACIÓN :	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	REVISADO :	R.Z.C.CH.
CALICATA :	Cal - 02	TECNICO :	R.Y.J.V.
ESTRATO :	E-1	FECHA ANALISIS :	Mayo del 2025

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	A-1	A-5	A-10	K-01	K-02
MASA TARA + SUELO HUMEDO (A)	28.46	33.00	29.78	14.08	13.41
MASA TARA + SUELO SECO (B)	24.92	28.68	26.15	13.21	12.55
MASA DE LA TARA (C)	15.10	15.83	14.66	8.55	8.64
MASA DEL AGUA (A-B)	3.54	4.32	3.63	0.87	0.86
MASA SUELO SECO (B-C)	9.82	12.85	11.49	4.66	3.91
HUMEDAD $[W=(A-B)/(B-C)*100]$	36.05	33.62	31.59	18.67	21.99
N° DE GOLPES	15	26	35		

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
33.75	20.33	13.4



Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Rinsky Zenon Cutimbo Chocalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



<b>LABORATORIO MECANICA DE SUELOS</b>	
(ASTM D 2216, NTP 339.127, MTC E 109)	
<b>HUMEDAD NATURAL</b>	
<b>PROYECTO / OBRA :</b>	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA
<b>SOLICITA :</b>	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ
<b>UBICACIÓN :</b>	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno
<b>CALICATA :</b>	Cal - 02
<b>ESTRATO :</b>	E-1
<b>PROFUNDIDAD :</b>	0.20 - 1.00 m
<b>REVISADO :</b>	R.Z.C.CH.
<b>TECNICO :</b>	R.Y.J.V.
<b>FECHA ANALISIS :</b>	Mayo del 2025

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL</b>			
Metodo de ensayo	X		Metodo "A"
	-----		Metodo "B"
1	Tara N°	B-8	
2	Masa Suelo húmedo + masa recipiente (g)	105.1	
3	Masa Suelo seco + masa recipiente (g)	89.4	
4	Masa de agua (g) ( 1 - 2 )	15.8	
5	Masa del recipiente (g)	15.1	
6	Suelo seco (g) ( 2 - 4 )	74.2	
7	% de Humedad	21.3	

OBSERVACIONES:

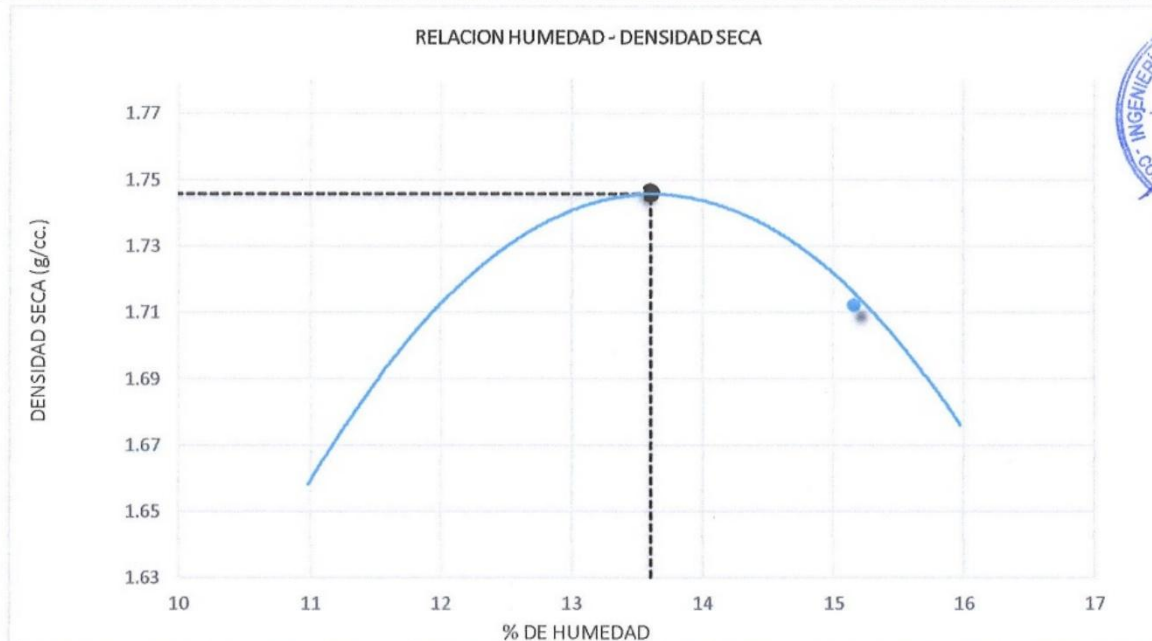
Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.



**Ing. Ronald Yon Janampa Velasquez**  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS					
ASTM D1557					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO					
PROYECTO	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA				
SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ		REVISADO	: R.Z.C.Ch.	
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno		TECNICO	: R.Y.J.V.	
CALICATA	: Cal - 02	ESTRATO	: E-1	FECHA	: Mayo del 2025
Molde N°	001	Método de compactación	"C"		
Volumen Molde	2123 cm <sup>3</sup>	N° de capas	: 05		
Masa del Molde	6835 gr	N° de golpes por capa	: 56		
Determinación	N°	01	02	03	
Masa del molde y Muestra	g	10742	11012	10962	
Masa del molde	g	6835	6835	6835	
Masa de la muestra compactada	g	3907	4177	4127	
Densidad húmeda	g/cc	1.840	1.97	1.94	
Densidad seca	g/cc	1.66	1.74	1.68	
Contenido de Humedad					
Recipiente	N°	Z-50	Z-53	Z-56	
Masa del Recipiente	g	14.3	14.6	14.1	
Masa del Recipiente + Suelo húmedo	g	97.2	96.7	97.6	
Masa del Recipiente + Suelo seco	g	89.0	87.3	86.1	
Masa de agua	g	8.2	9.5	11.5	
Masa del suelo seco	g	74.7	72.7	72.0	
Contenido de humedad	%	11.0	13.0	16.0	
Promedio		11.0	13.0	16.0	
DENSIDAD MAXIMA :		1.75	g/cm <sup>3</sup>	CONTENIDO DE HUMEDAD:	13.60 %



### OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Rinsky Zenon Cutimbo Chocalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

ASTM D1883

#### VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA -CBR

**PROYECTO :** "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

**SOLICITA :** Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ **REVISADO :** R.Z.C.Ch.

**UBICACIÓN :** Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno **TECNICO :** R.Y.J.V.

**CALICATA :** Cal - 02 **ESTRATO :** E-1 **FECHA :** Mayo del 2025

#### CALCULO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

	014	015	017
Molde	014	015	017
Numero de capas	05	05	05
Numero de golpes	56	25	12

Condicion de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
Masa suelo humedo + molde	12344	12498	12149	12351	11984	12219
Masa molde g	8127	8127	8051	8051	8060	8060
Masa del Suelo humedo g	4217	4371	4098	4300	3924	4159
Volumen del molde g	2125	2125	2108	2108	2064	2064
Densidad humeda g/cm <sup>3</sup>	1.98	2.06	1.94	2.04	1.90	2.02
Recipiente N°						
Recipiente + suelo humedo g	98.5	97.4	96.1	97.2	94.0	90.8
Recipiente + suelo seco g	89.1	87.0	86.9	85.8	85.1	79.2
Masa del agua g	9.4	10.4	9.2	11.5	8.9	11.6
Masa de recipiente g	19.8	19.6	19.4	19.1	19.7	19.3
Masa del suelo seco g	69.3	67.4	67.5	66.7	65.4	59.9
Contenido de humedad %	13.6	15.4	13.6	17.2	13.6	19.3
Promedio de humedad	13.6	15.4	13.6	17.2	13.6	19.3
Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	1.75	1.78	1.71	1.74	1.67	1.69



### Penetración

PENETRACIÓN		Carga Estándar	Molde Carga		014 Corrección		Molde Carga		015 Corrección		Molde Carga		017 Corrección	
mm.	pulg.	kg/cm <sup>2</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %
0.00	0.000		0	0.00			0	0.0			0	0.00		
0.63	0.025		28	1.4			17	0.8			8	0.4		
1.27	0.050		47	2.3			32	1.6			21	1.0		
1.91	0.075		85	4.2			52	2.6			45	2.2		
2.54	0.100	70.4	119	5.9	5.9	8.4	75	3.7	3.8	5.4	67	3.3	3.5	5.0
3.81	0.150		196	9.7			158	7.8			123	6.1		
5.09	0.200	104.0	278	13.8	13.8	13.3	203	10.1	10.1	9.7	160	7.9	7.9	7.6

OBSERVACIONES:

Ing. Ramsky Zenon Cutimbo Chocalla  
CIP. 177165  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

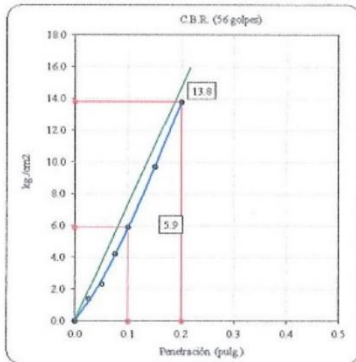


LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
ASTM D1983	
REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR	
PROYECTO :	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITA :	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ
UBICACIÓN :	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno
CALICATA :	Cal - 02
ESTRATO :	E-1
REVISADO :	R.Z.C.Ch.
TECNICO :	R.Y.J.V.
FECHA :	Mayo del 2025
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA	
ASTM D1883	

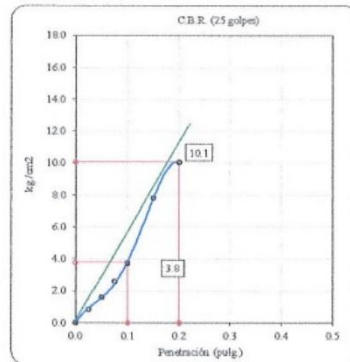
### Datos de muestra

Máxima Densidad Seca 1.75 gr./cm<sup>3</sup>  
 Máxima Densidad Seca al 95% 1.66 gr./cm<sup>3</sup>

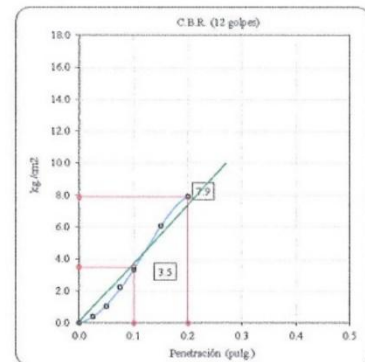
Óptimo Contenido de Humedad 13.60 %



C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : 8.4 %

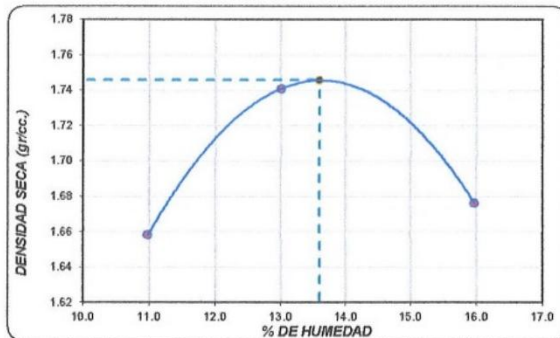


C.B.R. (0.1") 25 GOLPES : 5.4 %



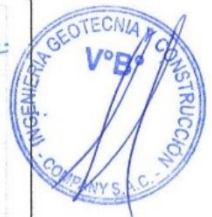
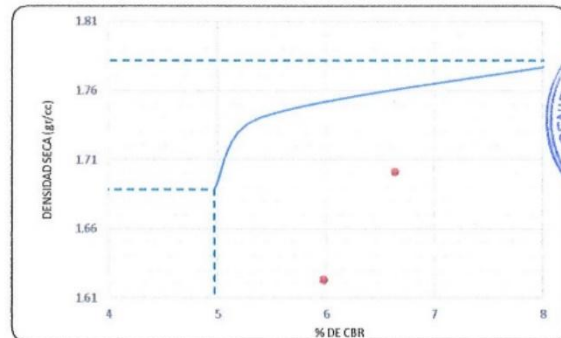
C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : 5.0 %

### CURVA DE COMPACTACIÓN - ASTM D1557



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1": 8.4 %  
 C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.1": 5.0 %

### CURVA CBR Vs DENSIDAD SECA



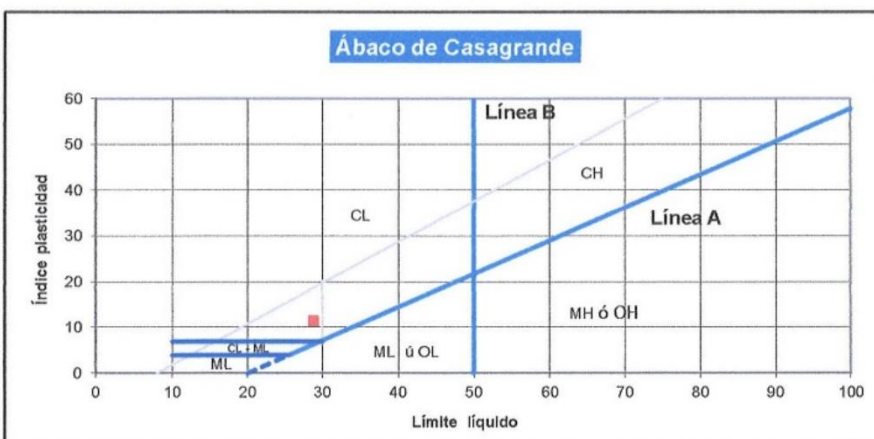
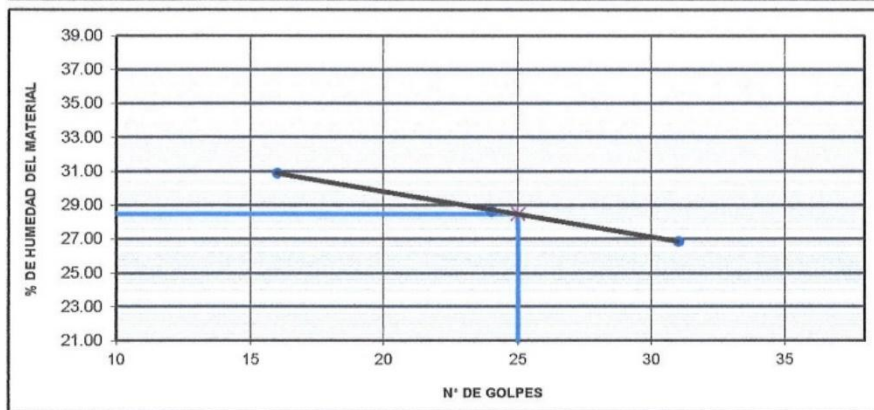
Ing. Rinsky Zenon Cutimbo Chocalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS			
(ASTMD-4318, NTP 339.129, MTC E 110/111)			
LIMITES DE CONSISTENCIA			
PROYECTO / OBRA :	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA		
SOLICITA :	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	PROFUNDIDAD :	0.20 - 1.60 m
UBICACIÓN :	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	REVISADO :	R.Z.C.CH.
MATERIAL :	CALICATA 02 + 2% CAL	TECNICO :	R.Y.J.V.
		FECHA ANALISIS :	Mayo del 2025

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Nº. DE CAPSULA	Z-01	X-51	X-36	L-17	K-63
MASA TARA + SUELO HUMEDO (A)	31.25	33.97	30.18	15.34	14.99
MASA TARA + SUELO SECO (B)	27.31	29.95	27.56	14.06	14.01
MASA DE LA TARA (C)	14.56	15.92	17.81	7.23	7.89
MASA DEL AGUA (A-B)	3.94	4.02	2.62	1.28	0.98
MASA SUELO SECO (B-C)	12.75	14.03	9.75	6.83	6.12
HUMEDAD $W=(A-B)/(B-C)*100$	30.90	28.65	26.87	18.74	16.01
Nº DE GOLPES	16	24	31		

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
28.81	17.38	11.4



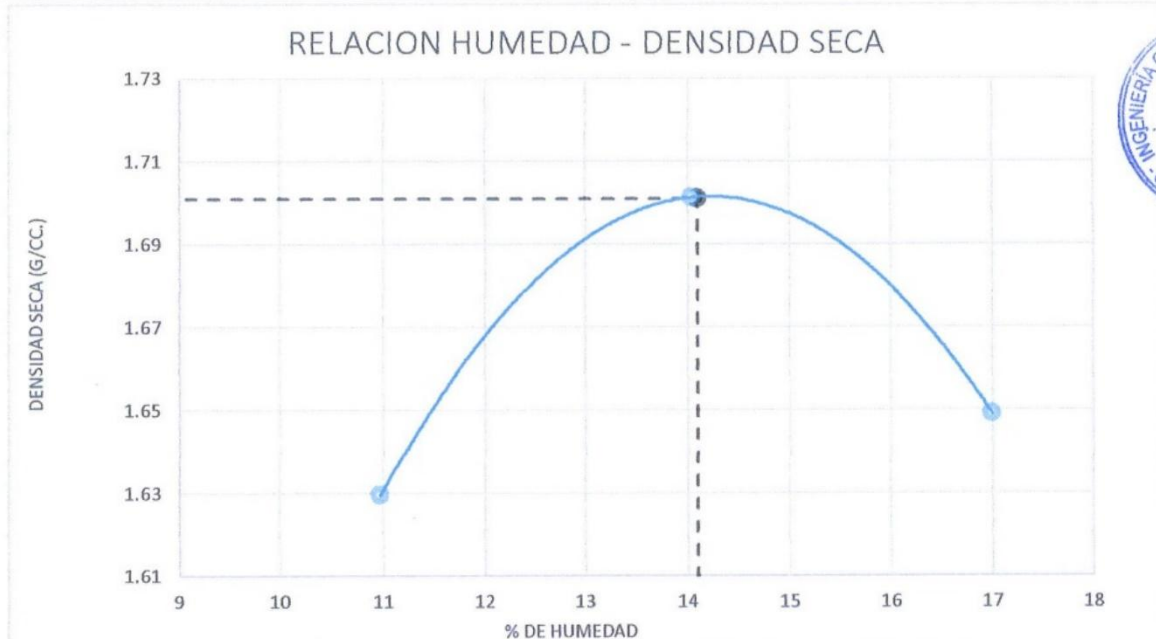
Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Rinsky Zenon Cutimbo Chacolla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA





LABORATORIO MECANICA DE SUELOS					
ASTM D1557					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO					
PROYECTO	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA				
SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ		REVISADO	: R.Z.C.Ch.	
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno		TECNICO	: R.Y.J.V.	
MATERIAL	: CALICATA 02 + 2% CAL		FECHA	: Mayo del 2025	
Molde N°	001	Método de compactación	"C"		
Volumen Molde	2123 cm <sup>3</sup>	N° de capas	: 05		
Masa del Molde	6835 gr	N° de golpes por capa	: 56		
Determinación	N°	01	02	03	
Masa del molde y Muestra	g	10674	10954	10931	
Masa del molde	g	6835	6835	6835	
Masa de la muestra compactada	g	3839	4119	4096	
Densidad húmeda	g/cc	1.808	1.94	1.93	
Densidad seca	g/cc	1.63	1.70	1.65	
Contenido de Humedad					
Recipiente	N°	H-21	J-6	A-102	
Masa del Recipiente	g	16.6	17.9	16.4	
Masa del Recipiente + Suelo húmedo	g	99.9	91.5	95.3	
Masa del Recipiente + Suelo seco	g	91.5	82.4	83.8	
Masa de agua	g	8.3	9.1	11.5	
Masa del suelo seco	g	75.9	64.5	67.4	
Contenido de humedad	%	11.0	14.0	17.0	
Promedio		11.0	14.0	17.0	
DENSIDAD MAXIMA :	1.70	g/cm <sup>3</sup>	CONTENIDO DE HUMEDAD:	14.10	%



### OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.



*[Signature]*  
Ing. Rinsky Zenon Cuatimbo Chocalla  
CIP. 177165  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

ASTM D1883

#### VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA -CBR

<b>PROYECTO</b>	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA		
<b>SOLICITA</b>	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	<b>REVISADO</b>	: R.Z.C.Ch.
<b>UBICACIÓN</b>	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	<b>TECNICO</b>	: R.Y.J.V.
<b>MATERIAL</b>	: CALICATA 02 + 2% CAL	<b>FECHA</b>	: Mayo del 2025

#### CALCULO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

	001	002	003
Molde			
Numero de capas	05	05	05
Numero de golpes	56	25	12

Condicion de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
Masa suelo humedo + molde	12311	12425	11655	11715	11211	11362
Masa molde g	8197	8197	7887	7887	7879	7879
Masa del Suelo humedo g	4114	4228	3768	3828	3332	3483
Volumen del molde g	2119	2119	2112	2112	2113	2113
Densidad humeda g/cm <sup>3</sup>	1.94	2.00	1.78	1.81	1.58	1.65
Recipiente N°						
Recipiente + suelo humedo g	94.3	96.4	95.2	94.4	90.2	91.8
Recipiente + suelo seco g	84.4	86.2	85.9	84.0	81.2	81.3
Masa del agua g	9.9	10.2	9.3	10.4	9.0	10.6
Masa de recipiente g	14.2	16.8	19.6	16.4	17.3	16.2
Masa del suelo seco g	70.1	69.4	66.3	67.6	63.9	65.0
Contenido de humedad %	14.1	14.7	14.1	15.3	14.1	16.3
Promedio de humedad	14.1	14.7	14.1	15.3	14.1	16.3
Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	1.70	1.74	1.56	1.57	1.38	1.42



#### Penetración

PENETRACIÓN		Carga Estándar	Molde Carga		001 Corrección		Molde Carga		002 Corrección		Molde Carga		003 Corrección	
mm.	pulg.	kg/cm <sup>2</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %
0.00	0.000		0	0.00			0	0.0			0	0.00		
0.63	0.025		22	1.1			13	0.6			7	0.3		
1.27	0.050		54	2.7			39	1.9			31	1.5		
1.91	0.075		94	4.7			71	3.5			64	3.2		
2.54	0.100	70.4	134	6.6	6.7	9.5	102	5.1	5.1	7.2	91	4.5	4.5	6.4
3.81	0.150		214	10.6			169	8.4			141	7.0		
5.09	0.200	104.0	291	14.4	14.5	13.9	228	11.3	11.3	10.9	203	10.1	10.1	9.7

OBSERVACIONES:

Ing. Kimberly Zedeno Curimbo Checalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

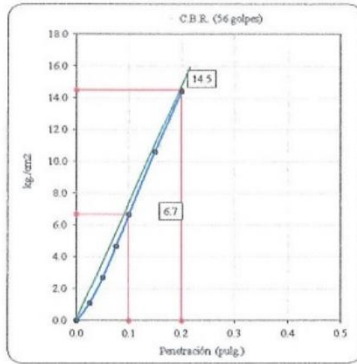


LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
ASTM D1883	
REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR	
PROYECTO :	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITA :	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ
UBICACIÓN :	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno
MATERIAL :	CALICATA 02 + 2% CAL
REVISADO :	R.Z.C.Ch.
TECNICO :	R.Y.J.V.
FECHA :	Mayo del 2025
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA	
ASTM D1883	

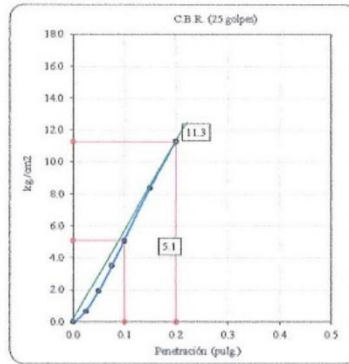
#### Datos de muestra

Máxima Densidad Seca 1.70 gr./cm<sup>3</sup>  
 Máxima Densidad Seca al 95% 1.62 gr./cm<sup>3</sup>

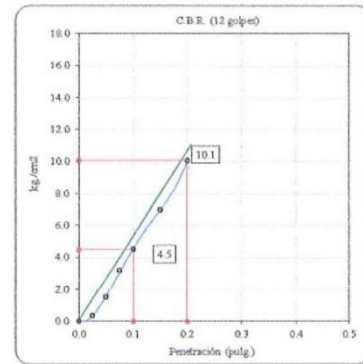
Optimo Contenido de Humedad 14.10 %



C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : 9.5 %

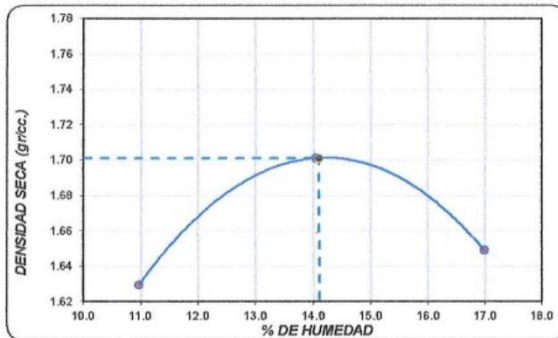


C.B.R. (0.1") 25 GOLPES : 7.2 %



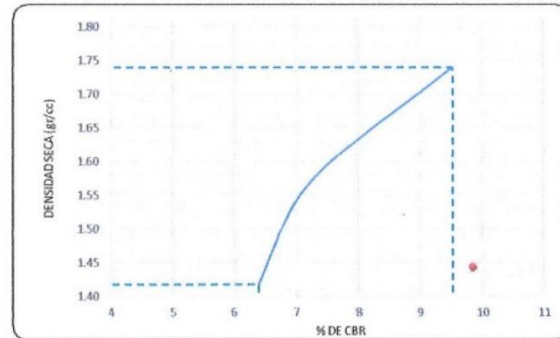
C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : 6.4 %

#### CURVA DE COMPACTACIÓN - ASTM D1557



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1": 9.5 %  
 C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.1": 6.4 %

#### CURVA CBR Vs DENSIDAD SECA



Ing. Yon Janampa Velasquez Checalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

(ASTM D-4318, NTP 339.129, MTC E 110/111)

#### LIMITES DE CONSISTENCIA

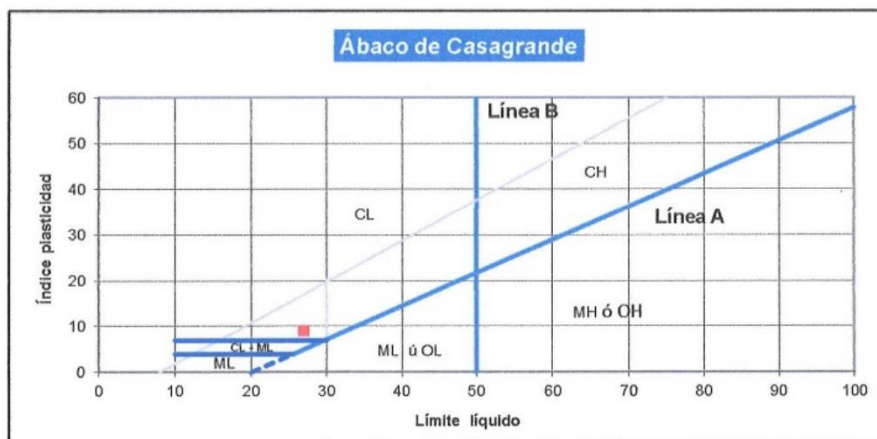
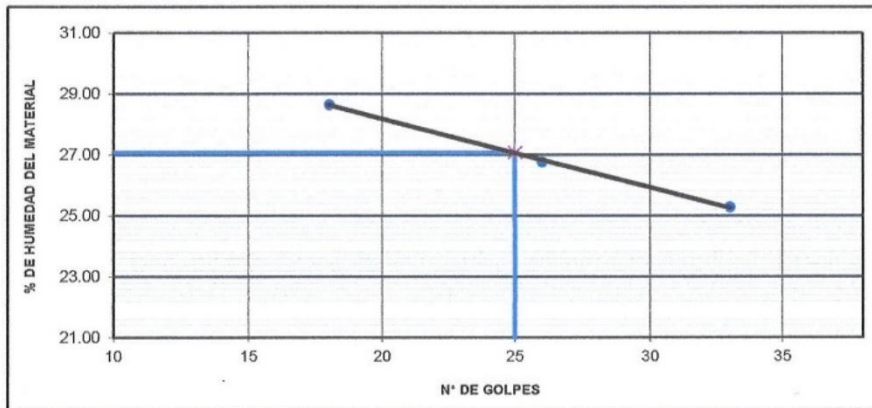
PROYECTO / OBRA : "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITA : Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ  
UBICACIÓN : Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno  
MATERIAL : CALICATA 02 + 4% CAL

PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.60 m  
REVISADO : R.Z.C.CH.  
TECNICO : R.Y.J.V.  
FECHA ANALISIS : Mayo del 2025

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	A-484	S-436	Z-452	M-98	L-76
Nº. DE CAPSULA					
MASA TARA + SUELO HUMEDO (A)	30.18	34.19	33.28	16.19	17.84
MASA TARA + SUELO SECO (B)	27.14	31.08	30.25	14.91	16.39
MASA DE LA TARA (C)	16.53	19.46	18.27	7.86	8.09
MASA DEL AGUA (A-B)	3.04	3.11	3.03	1.28	1.45
MASA SUELO SECO (B-C)	10.61	11.62	11.98	7.05	8.30
HUMEDAD $[W=(A-B)/(B-C)*100]$	28.65	26.76	25.29	18.16	17.47
Nº DE GOLPES	18	26	33		

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
26.90	17.81	9.1



Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Rinsay Zenon Cutimbo Checcalla  
CIP. 177165  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



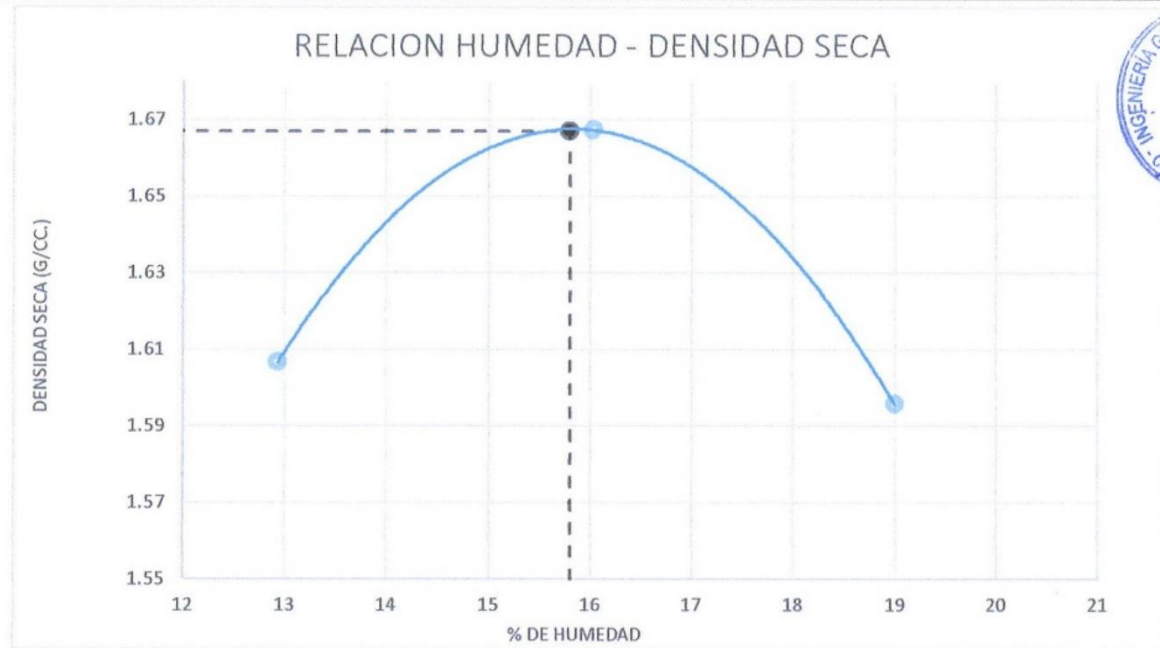
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS			
ASTM D1557			
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO			
PROYECTO	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA		
SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	REVISADO	: R.Z.C.Ch.
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	TECNICO	: R.Y.J.V.
MATERIAL	: CALICATA 02 + 4% CAL	FECHA	: Mayo del 2025

Molde N°	001	Método de compactación	"C"
Volumen Molde	2123 cm <sup>3</sup>	N° de capas	: 05
Masa del Molde	6835 gr	N° de golpes por capa	: 56

Determinación	N°	01	02	03
Masa del molde y Muestra	g	10687	10942	10866
Masa del molde	g	6835	6835	6835
Masa de la muestra compactada	g	3852	4107	4031
Densidad húmeda	g/cc	1.814	1.93	1.90
Densidad seca	g/cc	1.61	1.67	1.60

Contenido de Humedad					
Recipiente	N°	F-21	S-454	T-111	
Masa del Recipiente	g	16.3	18.5	14.2	
Masa del Recipiente + Suelo húmedo	g	94.2	92.1	88.5	
Masa del Recipiente + Suelo seco	g	85.3	81.9	76.6	
Masa de agua	g	8.9	10.2	11.9	
Masa del suelo seco	g	69.0	63.5	62.4	
Contenido de humedad	%	12.9	16.0	19.0	
Promedio		12.9	16.0	19.0	

DENSIDAD MAXIMA : **1.67 g/cm<sup>3</sup>**      CONTENIDO DE HUMEDAD: **15.80 %**



### OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ingeniero Zeton Cuzimbo Chicacalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

ASTM D1883

#### VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA -CBR

<b>PROYECTO</b>	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VIAS DE LA CIUDAD DE JULIACA		
<b>SOLICITA</b>	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	<b>REVISADO</b>	: R.Z.C.Ch.
<b>UBICACIÓN</b>	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	<b>TECNICO</b>	: R.Y.J.V.
<b>MATERIAL</b>	: CALICATA 02 + 4% CAL	<b>FECHA</b>	: Mayo del 2025

#### CALCULO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

	004	005	006
Molde	004	005	006
Numero de capas	05	05	05
Numero de golpes	56	25	12

Condicion de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
Masa suelo humedo + molde	12289	12361	11485	11576	11234	11346
Masa molde g	8197	8197	7887	7887	7879	7879
Masa del Suelo humedo g	4092	4164	3598	3689	3355	3467
Volumen del molde g	2119	2119	2112	2112	2113	2113
Densidad humeda g/cm <sup>3</sup>	1.93	1.97	1.70	1.75	1.59	1.64
Recipiente N°						
Recipiente + suelo humedo g	89.2	90.5	94.8	90.1	93.6	90.2
Recipiente + suelo seco g	79.1	80.4	83.7	79.5	83.2	78.9
Masa del agua g	10.1	10.1	11.0	10.6	10.4	11.3
Masa de recipiente g	15.4	18.9	14.1	16.9	17.4	15.9
Masa del suelo seco g	63.7	61.4	69.6	62.7	65.8	63.0
Contenido de humedad %	15.8	16.5	15.8	17.0	15.8	17.9
Promedio de humedad	15.8	16.5	15.8	17.0	15.8	17.9
Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	1.67	1.69	1.47	1.49	1.37	1.39



#### Penetración

PENETRACIÓN		Carga Estándar	Molde Carga		004 Corrección		Molde Carga		005 Corrección		Molde Carga		006 Corrección	
mm.	pulg.	kg/cm <sup>2</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %
0.00	0.000		0	0.00			0	0.0			0	0.00		
0.63	0.025		32	1.6			26	1.3			14	0.7		
1.27	0.050		71	3.5			64	3.2			50	2.5		
1.91	0.075		110	5.4			99	4.9			89	4.4		
2.54	0.100	70.4	156	7.7	7.8	11.0	142	7.0	7.1	10.1	131	6.5	6.5	9.2
3.81	0.150		245	12.1			212	10.5			194	9.6		
5.09	0.200	104.0	319	15.8	16.0	15.4	278	13.8	13.8	13.3	251	12.4	12.4	11.9

OBSERVACIONES:

Ing. Rinsky Zenon Cuimbo Checalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

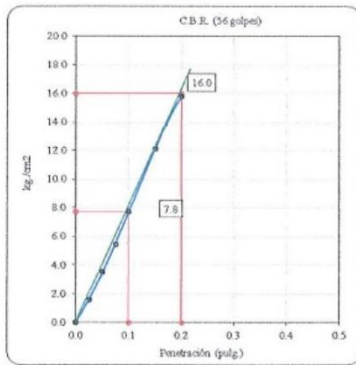


LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
ASTM D1883	
REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR	
PROYECTO :	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITA :	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ
UBICACIÓN :	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno
MATERIAL :	CALICATA 02 + 4% CAL
REVISADO :	R.Z.C.Ch.
TECNICO :	R.Y.J.V.
FECHA :	Mayo del 2025
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA	
ASTM D1883	

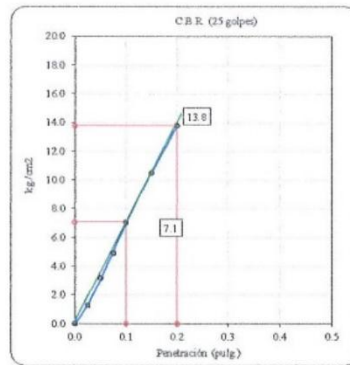
### Datos de muestra

Máxima Densidad Seca 1.67 gr./cm<sup>3</sup>  
 Máxima Densidad Seca al 95% 1.58 gr./cm<sup>3</sup>

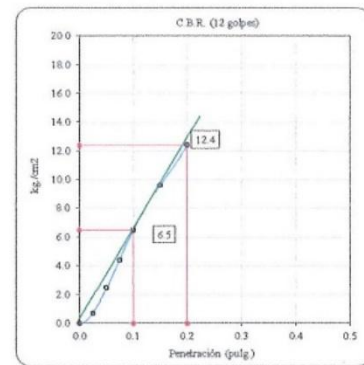
Optimo Contenido de Humedad 15.80 %



C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : 11.0 %

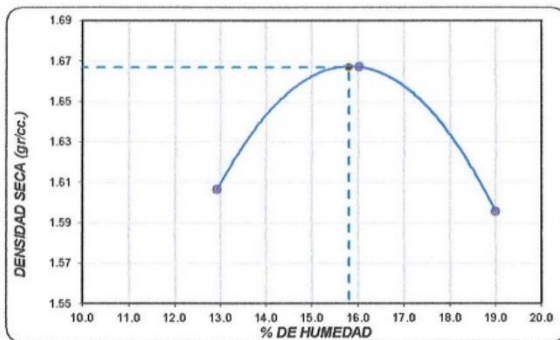


C.B.R. (0.1") 25 GOLPES : 10.1 %



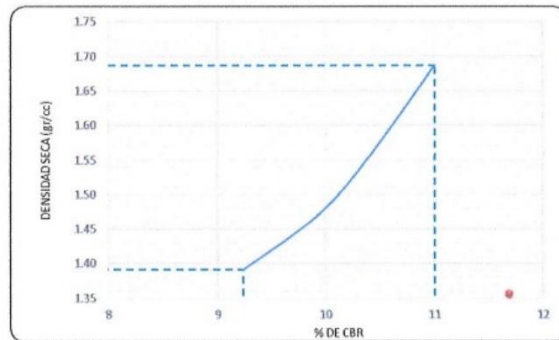
C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : 9.2 %

### CURVA DE COMPACTACIÓN - ASTM D1557



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1": 11.0 %  
 C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.1": 9.2 %

### CURVA CBR Vs DENSIDAD SECA



Ing. Ramsky Zenon Colimbo Checalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

(ASTM D-4318, NTP 339.129, MTC E 110/111)

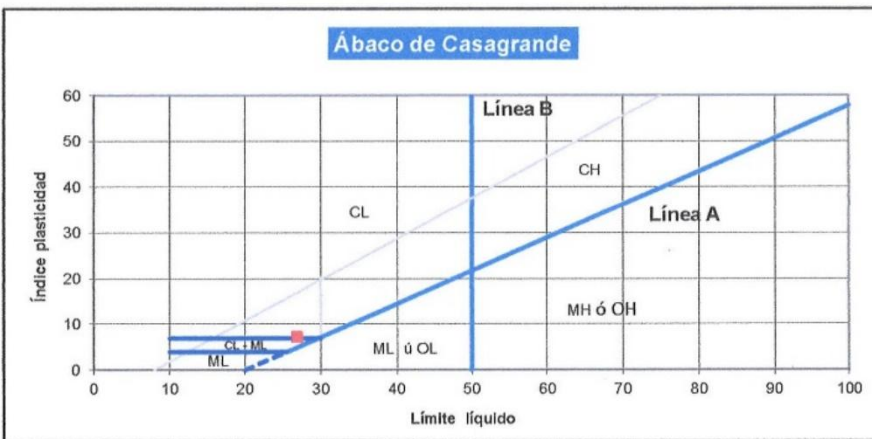
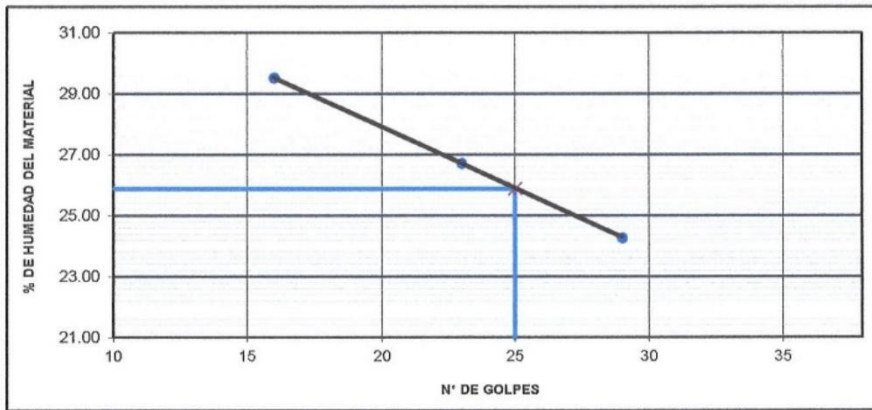
#### LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO / OBRA : "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.60 m
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	REVISADO	: R.Z.C.CH.
MATERIAL	: CALICATA 02 + 6% CAL	TECNICO	: R.Y.J.V.
		FECHA ANALISIS	: Mayo del 2025

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	R-21	R-55	A-23	G-67	U-64
Nº. DE CAPSULA					
MASA TARA + SUELO HUMEDO (A)	31.89	33.46	36.78	17.46	16.49
MASA TARA + SUELO SECO (B)	29.00	29.75	32.51	15.61	15.27
MASA DE LA TARA (C)	19.21	15.87	14.92	7.09	8.25
MASA DEL AGUA (A-B)	2.89	3.71	4.27	1.85	1.22
MASA SUELO SECO (B-C)	9.79	13.88	17.59	8.52	7.02
HUMEDAD [W=(A-B)/(B-C)*100	29.52	26.73	24.28	21.71	17.38
Nº DE GOLPES	16	23	29		

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
26.84	19.55	7.3



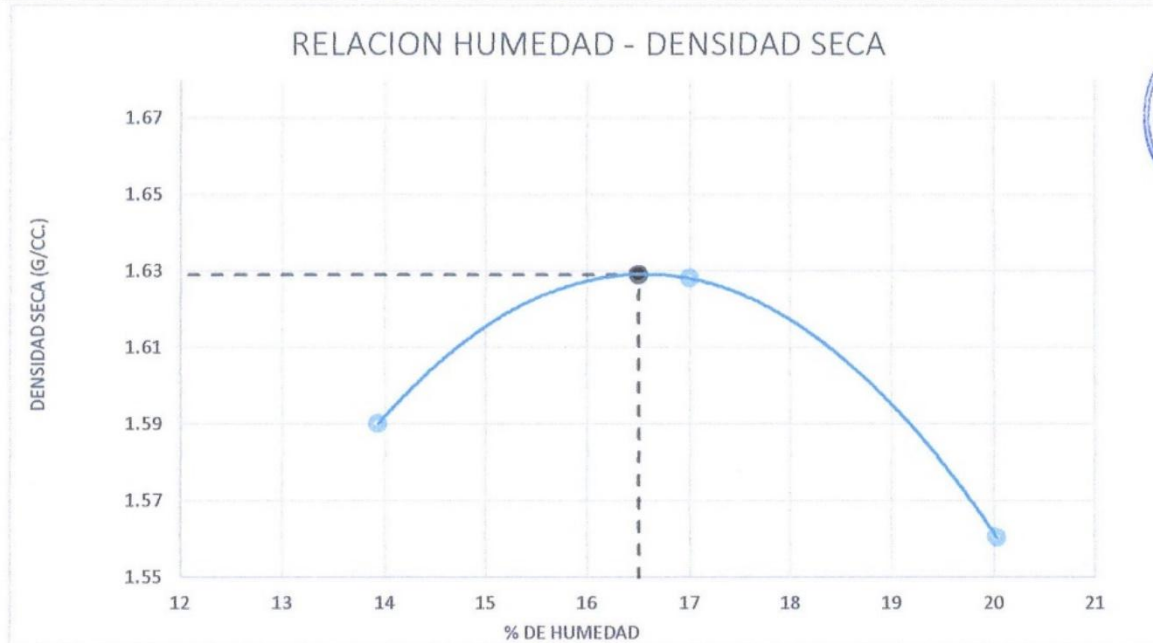
Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.



Ing. Rimsky Zenon Cuatrecasas Checalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS						
ASTM D1557						
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO						
<b>PROYECTO</b>	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA					
<b>SOLICITA</b>	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ			<b>REVISADO</b>	: R.Z.C.Ch.	
<b>UBICACIÓN</b>	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno			<b>TECNICO</b>	: R.Y.J.V.	
<b>MATERIAL</b>	: CALICATA 02 + 6% CAL			<b>FECHA</b>	: Mayo del 2025	
Molde N°	001	Método de compactación		"C"		
Volumen Molde	2123 cm <sup>3</sup>	N° de capas		: 05		
Masa del Molde	6835 gr	N° de golpes por capa		: 56		
Determinación	N°	01	02	03		
Masa del molde y Muestra	g	10681	10879	10811		
Masa del molde	g	6835	6835	6835		
Masa de la muestra compactada	g	3846	4044	3976		
Densidad húmeda	g/cc	1.812	1.90	1.87		
Densidad seca	g/cc	1.59	1.63	1.56		
Contenido de Humedad						
Recipiente	N°	Z-332	S-656	Y-515		
Masa del Recipiente	g	17.5	14.3	16.3		
Masa del Recipiente + Suelo húmedo	g	94.2	92.1	88.5		
Masa del Recipiente + Suelo seco	g	84.8	80.8	76.4		
Masa de agua	g	9.4	11.3	12.0		
Masa del suelo seco	g	67.3	66.5	60.1		
Contenido de humedad	%	13.9	17.0	20.0		
Promedio		13.9	17.0	20.0		
<b>DENSIDAD MAXIMA :</b>		<b>1.63</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD:</b>	<b>16.50</b>	<b>%</b>



### OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Raimundo Zedon Cutimbo Checalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

ASTM D1883

#### VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA -CBR

**PROYECTO :** "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

**SOLICITA :** Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ **REVISADO :** R.Z.C.Ch.

**UBICACIÓN :** Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno **TECNICO :** R.Y.J.V.

**MATERIAL :** CALICATA 02 + 6% CAL **FECHA :** Mayo del 2025

#### CALCULO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

Molde	007	008	009
Numero de capas	05	05	05
Numero de golpes	56	25	12

Condicion de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
Masa suelo humedo + molde	11901	11985	11425	11540	11294	11401
Masa molde g	7940	7940	8060	8060	8127	8127
Masa del Suelo humedo g	3961	4045	3365	3480	3167	3274
Volumen del molde g	2088	2088	2064	2064	2125	2125
Densidad humeda g/cm <sup>3</sup>	1.90	1.94	1.63	1.69	1.49	1.54
Recipiente N°						
Recipiente + suelo humedo g	92.2	99.2	85.6	82.8	94.2	95.7
Recipiente + suelo seco g	81.3	87.4	75.5	72.8	83.3	83.1
Masa del agua g	10.9	11.8	10.1	10.0	10.9	12.6
Masa de recipiente g	15.4	18.9	14.1	16.9	17.4	15.9
Masa del suelo seco g	65.9	68.4	61.4	56.0	65.9	67.2
Contenido de humedad %	16.5	17.2	16.5	17.8	16.5	18.7
Promedio de humedad	16.5	17.2	16.5	17.8	16.5	18.7
Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	1.63	1.65	1.40	1.43	1.28	1.30



#### Penetración

PENETRACIÓN		Carga Estándar	Molde		007		Molde		008		Molde		009	
mm.	pulg.		kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %
0.00	0.000		0	0.00			0	0.0			0	0.00		
0.63	0.025		47	2.3			36	1.8			29	1.4		
1.27	0.050		89	4.4			75	3.7			64	3.2		
1.91	0.075		129	6.4			114	5.6			99	4.9		
2.54	0.100	70.4	182	9.0	9.1	12.9	165	8.2	8.2	11.6	151	7.5	7.5	10.7
3.81	0.150		284	14.1			254	12.6			229	11.3		
5.09	0.200	104.0	402	19.9	20.0	19.2	323	16.0	16.2	15.6	299	14.8	15.0	14.4

OBSERVACIONES:

Ing. Rimsky Zenon Cutimbo Chocalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
ASTM D1883	
REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR	
PROYECTO :	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITA :	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ
UBICACIÓN :	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno
MATERIAL :	CALICATA 02 + 6% CAL
REVISADO :	R.Z.C.Ch.
TECNICO :	R.Y.J.V.
FECHA :	Mayo del 2025
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA	
ASTM D1883	

### Datos de muestra

Máxima Densidad Seca \_\_\_\_\_

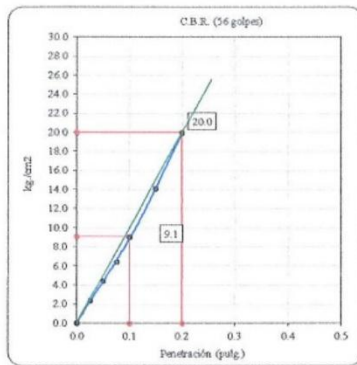
1.63 gr/cm<sup>3</sup>

Optimo Contenido de Humedad \_\_\_\_\_ %

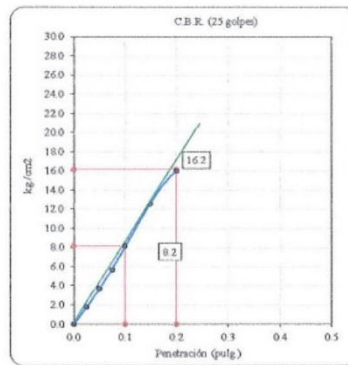
16.50 %

Máxima Densidad Seca al 95% \_\_\_\_\_

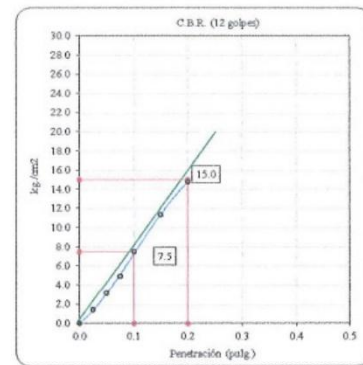
1.55 gr/cm<sup>3</sup>



C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : 12.9 %

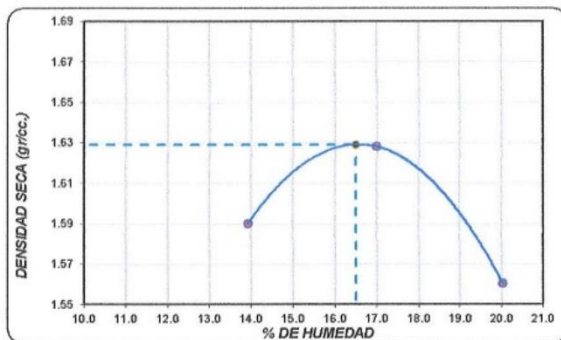


C.B.R. (0.1") 25 GOLPES : 11.6 %



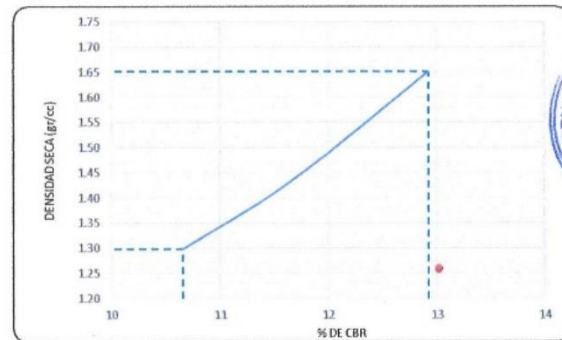
C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : 10.7 %

### CURVA DE COMPACTACIÓN - ASTM D1557



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1": 12.9 %  
C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.1": 10.7 %

### CURVA CBR Vs DENSIDAD SECA



Ing. Kimsky Zenon Cutimbo Checulla  
CIP. 177165  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

(ASTM D-4318, NTP 339.129, MTC E 110/111)

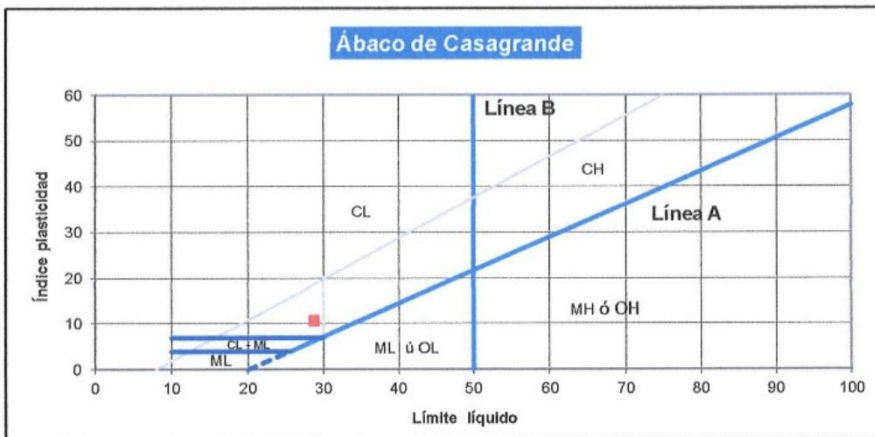
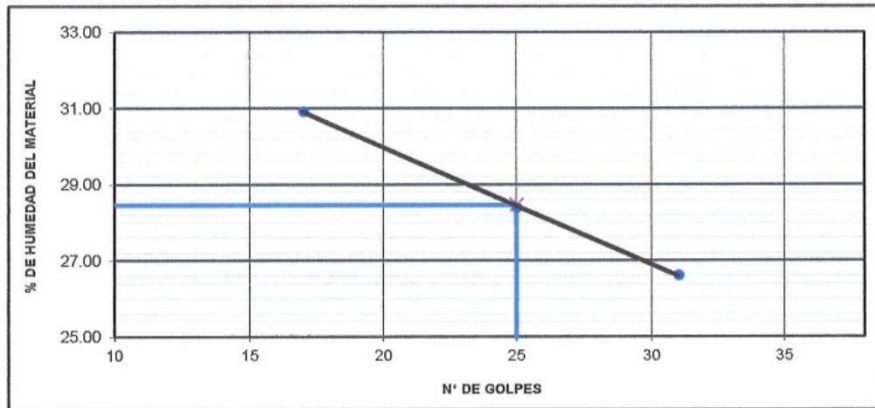
#### LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO / OBRA : "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.60 m
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	REVISADO	: R.Z.C.CH.
MATERIAL	: CALICATA 02 + 3% CEMENTO	TECNICO	: R.Y.J.V.
		FECHA ANALISIS	: Mayo del 2025

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	T-12	R-65	S-08	J-15	U-48
Nº DE CAPSULA					
MASA TARA + SUELO HUMEDO (A)	30.31	32.58	29.99	15.29	17.48
MASA TARA + SUELO SECO (B)	26.84	29.24	27.01	14.17	15.99
MASA DE LA TARA (C)	15.62	17.48	15.82	7.56	8.06
MASA DEL AGUA (A-B)	3.47	3.34	2.98	1.12	1.49
MASA SUELO SECO (B-C)	11.22	11.76	11.19	6.61	7.93
HUMEDAD [W=(A-B)/(B-C)*100	30.93	28.40	26.63	16.94	18.79
Nº DE GOLPES	17	25	31		

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
28.65	17.87	10.8



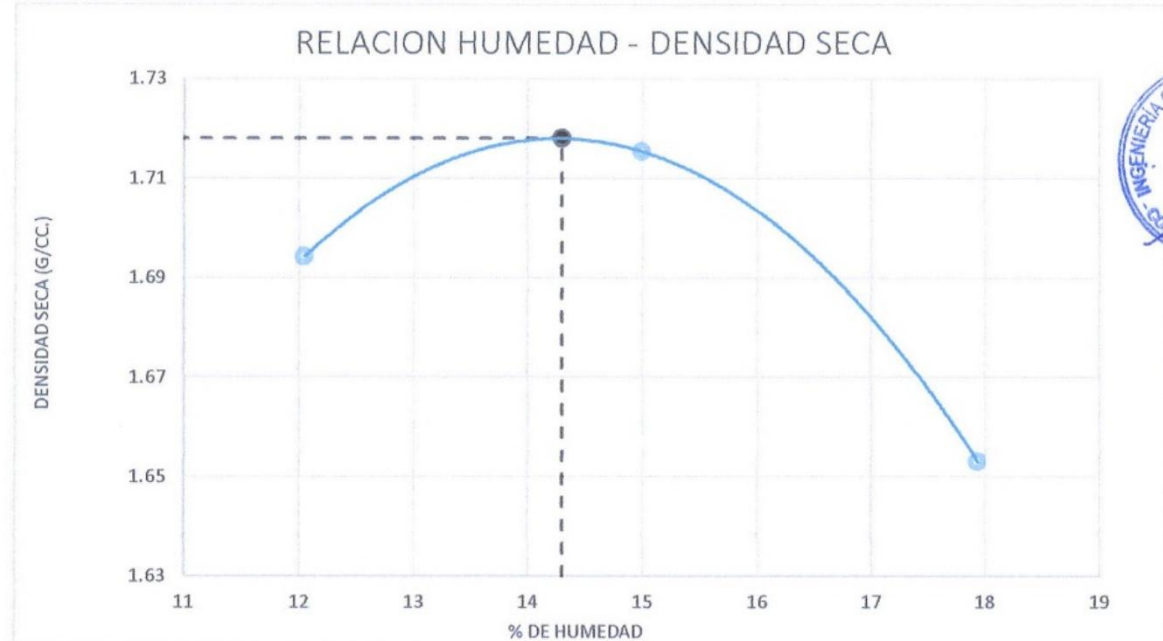
Prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.



Ing. Rinsky Zanon Cutimbo Checcolla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS					
ASTM D1557					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO					
PROYECTO	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA"				
SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ		REVISADO	: R.Z.C.Ch.	
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno		TECNICO	: R.Y.J.V.	
MATERIAL	: CALICATA 02 + 3% CEMENTO		FECHA	: Mayo del 2025	
Molde N°	001	Método de compactación	"C"		
Volumen Molde	2123 cm <sup>3</sup>	N° de capas	: 05		
Masa del Molde	6835 gr	N° de golpes por capa	: 56		
Determinación	N°	01	02	03	
Masa del molde y Muestra	g	10965	11023	10974	
Masa del molde	g	6835	6835	6835	
Masa de la muestra compactada	g	4030	4188	4139	
Densidad húmeda	g/cc	1.898	1.97	1.95	
Densidad seca	g/cc	1.69	1.72	1.65	
Contenido de Humedad					
Recipiente	N°	K-258	K-691	K-781	
Masa del Recipiente	g	15.9	18.8	18.3	
Masa del Recipiente + Suelo húmedo	g	99.7	91.2	97.3	
Masa del Recipiente + Suelo seco	g	90.7	81.8	85.0	
Masa de agua	g	9.0	9.4	12.3	
Masa del suelo seco	g	74.8	63.0	68.7	
Contenido de humedad	%	12.0	15.0	17.9	
Promedio		12.0	15.0	17.9	
<b>DENSIDAD MAXIMA :</b>	<b>1.72</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD:</b>	<b>14.30</b>	<b>%</b>



### OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Rimsy Zenon Cutimbo Checulla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

ASTM D1883

#### VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA -CBR

<b>PROYECTO</b>	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA		
<b>SOLICITA</b>	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	<b>REVISADO</b>	: R.Z.C.Ch.
<b>UBICACIÓN</b>	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	<b>TECNICO</b>	: R.Y.J.V.
<b>MATERIAL</b>	: CALICATA 02 + 3% CEMENTO	<b>FECHA</b>	: Mayo del 2025

#### CALCULO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

Molde	080	081	082
Numero de capas	05	05	05
Numero de golpes	56	25	12

Condicion de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
Masa suelo humedo + molde	11997	12084	11621	11721	11301	11412
Masa molde g	7879	7879	7882	7882	7960	7960
Masa del Suelo humedo g	4118	4205	3739	3839	3341	3452
Volumen del molde g	2099	2099	2091	2091	2090	2090
Densidad humeda g/cm <sup>3</sup>	1.96	2.00	1.79	1.84	1.60	1.65
Recipiente N°						
Recipiente + suelo humedo g	98.5	97.4	96.1	97.2	94.0	90.8
Recipiente + suelo seco g	88.0	87.2	86.4	86.4	84.3	80.6
Masa del agua g	10.5	10.2	9.7	10.8	9.7	10.2
Masa de recipiente g	14.2	18.5	18.3	17.3	16.6	17.4
Masa del suelo seco g	73.8	68.7	68.1	69.1	67.7	63.2
Contenido de humedad %	14.3	14.9	14.3	15.6	14.3	16.1
Promedio de humedad	14.3	14.9	14.3	15.6	14.3	16.1
Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	1.72	1.74	1.56	1.59	1.40	1.42



#### Penetración

PENETRACIÓN		Carga Estándar kg/cm <sup>2</sup>	Molde 080		Molde 081		Molde 082						
mm.	pulg.		Carga kg	Corrección kg/cm <sup>2</sup>	Carga kg	Corrección kg/cm <sup>2</sup>	Carga kg	Corrección kg/cm <sup>2</sup>					
0.00	0.000		0	0.00		0	0.0		0	0.00			
0.63	0.025		36	1.8		29	1.4		12	0.6			
1.27	0.050		64	3.2		56	2.8		37	1.8			
1.91	0.075		99	4.9		89	4.4		73	3.6			
2.54	0.100	70.4	141	7.0	7.0	121	6.0	6.0	8.5	105	5.2	5.2	7.3
3.81	0.150		224	11.1		179	8.9		159	7.9			
5.09	0.200	104.0	291	14.4	14.4	229	11.3	11.4	11.0	204	10.1	10.2	9.8

OBSERVACIONES:

CIP. 177165  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

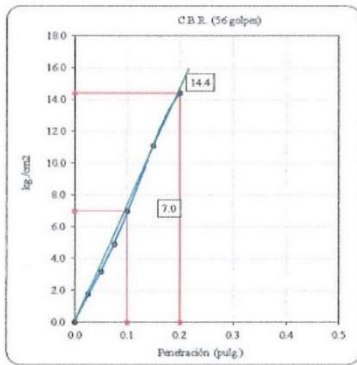




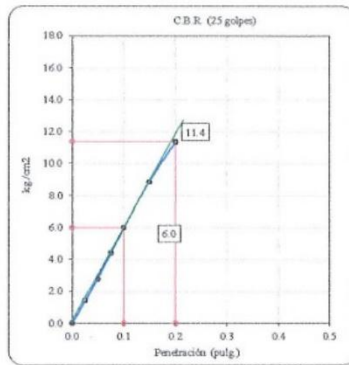
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
ASTM D1883	
REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR	
PROYECTO :	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VIAS DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITA :	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ
UBICACIÓN :	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno
MATERIAL :	CALICATA 02 + 3% CEMENTO
REVISADO :	R.Z.C.Ch.
TECNICO :	R.Y.J.V.
FECHA :	Mayo del 2025
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA	
ASTM D1883	

#### Datos de muestra

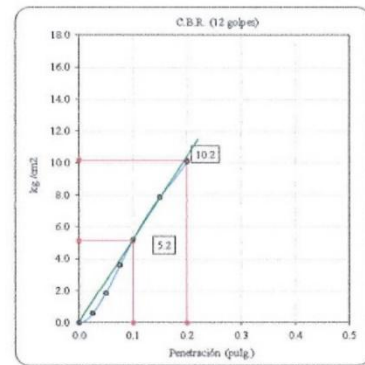
Máxima Densidad Seca 1.72 gr./cm<sup>3</sup>      Óptimo Contenido de Humedad 14.30 %  
 Máxima Densidad Seca al 95% 1.63 gr./cm<sup>3</sup>



C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : 9.9 %

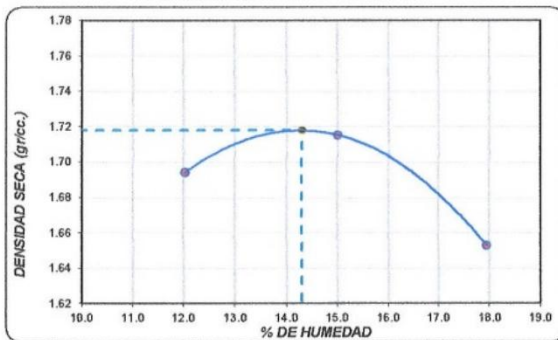


C.B.R. (0.1") 25 GOLPES : 8.5 %



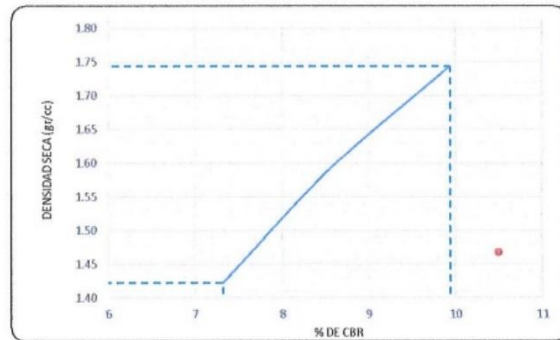
C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : 7.3 %

#### CURVA DE COMPACTACIÓN - ASTM D1557



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1": 9.9 %  
 C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.1": 7.3 %

#### CURVA CBR Vs DENSIDAD SECA



Ing. Ronald Yon Janampa Velasquez  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

(ASTM D-4318, NTP 339.129, MTC E 110/111)

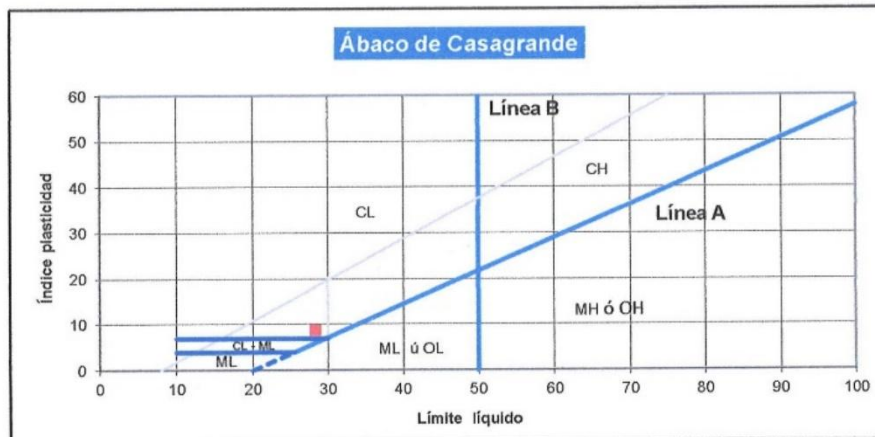
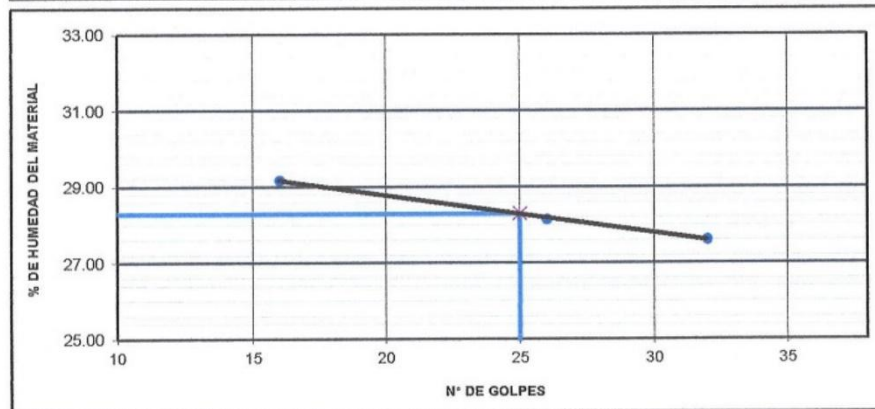
#### LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO / OBRA : "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.60 m
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	REVISADO	: R.Z.C.CH.
MATERIAL	: CALICATA 02 + 5% CEMENTO	TECNICO	: R.Y.J.V.
		FECHA ANALISIS	: Mayo del 2025

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	H-21	D-33	S-12	S-22	Z-94
MASA TARA + SUELO HUMEDO (A)	33.69	31.28	37.49	15.46	14.99
MASA TARA + SUELO SECO (B)	29.75	28.47	33.61	14.18	13.89
MASA DE LA TARA (C)	16.25	18.49	19.56	7.76	8.13
MASA DEL AGUA (A-B)	3.94	2.81	3.88	1.28	1.10
MASA SUELO SECO (B-C)	13.50	9.98	14.05	6.42	5.76
HUMEDAD $W=(A-B)/(B-C)*100$	29.19	28.16	27.62	19.94	19.10
N° DE GOLPES	16	26	32		

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
28.32	19.52	8.8



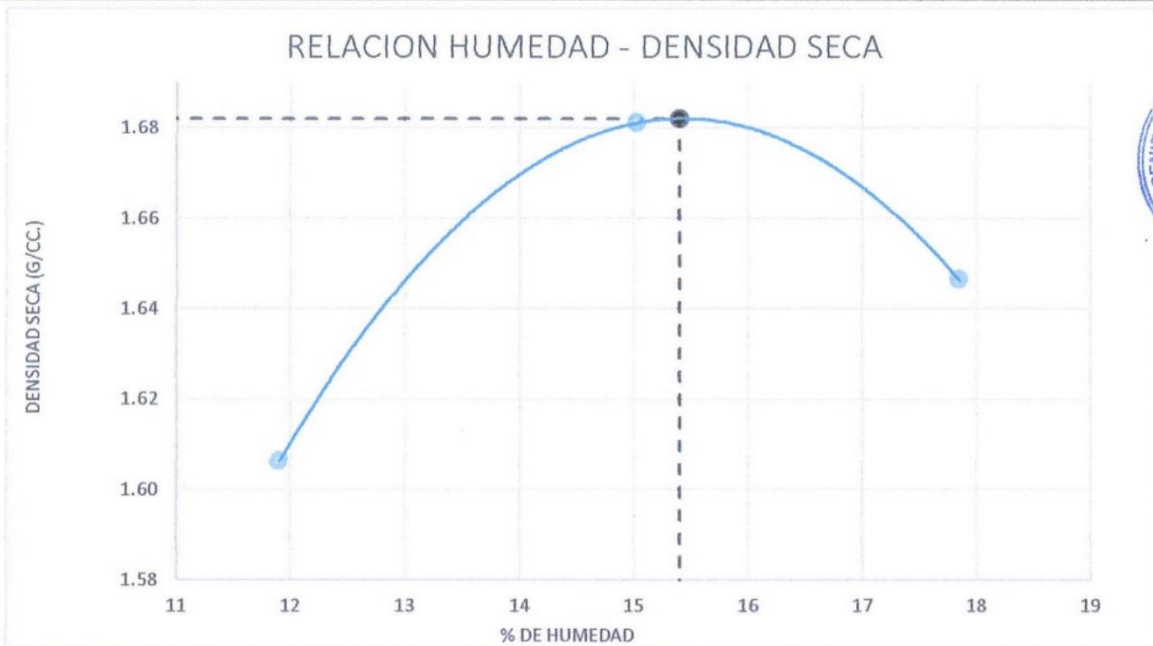
Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.



Ing. Kimsky Zenon Cutimbo Chocalla  
CIP. 177165  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS					
ASTM D1557					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO					
<b>PROYECTO</b>	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA				
<b>SOLICITA</b>	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ		<b>REVISADO</b>	: R.Z.C.Ch.	
<b>UBICACIÓN</b>	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno		<b>TECNICO</b>	: R.Y.J.V.	
<b>MATERIAL</b>	: CALICATA 02 + 5% CEMENTO		<b>FECHA</b>	: Mayo del 2025	
Molde N°	001	Método de compactación	"C"		
Volumen Molde	2123 cm <sup>3</sup>	N° de capas	: 05		
Masa del Molde	6835 gr	N° de golpes por capa	: 56		
Determinación	N°	01	02	03	
Masa del molde y Muestra	g	10651	10940	10954	
Masa del molde	g	6835	6835	6835	
Masa de la muestra compactada	g	3816	4105	4119	
Densidad húmeda	g/cc	1.797	1.93	1.94	
Densidad seca	g/cc	1.61	1.68	1.65	
Contenido de Humedad					
Recipiente	N°	P-991	R-21	W-33	
Masa del Recipiente	g	16.3	17.5	15.2	
Masa del Recipiente + Suelo húmedo	g	100.5	97.5	99.3	
Masa del Recipiente + Suelo seco	g	91.6	87.0	86.6	
Masa de agua	g	9.0	10.4	12.7	
Masa del suelo seco	g	75.3	69.5	71.4	
Contenido de humedad	%	11.9	15.0	17.8	
Promedio		11.9	15.0	17.8	
<b>DENSIDAD MAXIMA :</b>	<b>1.68</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD:</b>	<b>15.40</b>	<b>%</b>



**OBSERVACIONES**

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

**Ing. Ronald Yon Janampa Velasquez**  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

ASTM D1883

#### VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA -CBR

PROYECTO	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA		
SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	REVISADO	: R.Z.C.Ch.
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	TECNICO	: R.Y.J.V.
MATERIAL	: CALICATA 02 + 5% CEMENTO	FECHA	: Mayo del 2025

#### CALCULO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

Molde	083		084		085	
Numero de capas	05		05		05	
Numero de golpes	56		25		12	

Condicion de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
Masa suelo humedo + molde	11939	12012	11421	11519	11141	11239
Masa molde g	7882	7882	7960	7960	7879	7879
Masa del Suelo humedo g	4057	4130	3461	3559	3262	3360
Volumen del molde g	2091	2091	2090	2090	2099	2099
Densidad humeda g/cm <sup>3</sup>	1.94	1.98	1.66	1.70	1.55	1.60
Recipiente N°						
Recipiente + suelo humedo g	84.2	87.5	94.3	88.6	91.7	89.5
Recipiente + suelo seco g	75.0	77.3	84.1	78.0	82.1	78.9
Masa del agua g	9.2	10.2	10.2	10.6	9.7	10.5
Masa de recipiente g	15.3	14.2	17.5	15.3	19.3	18.3
Masa del suelo seco g	59.8	63.2	66.6	62.7	62.7	60.7
Contenido de humedad %	15.4	16.1	15.4	16.8	15.4	17.4
Promedio de humedad	15.4	16.1	15.4	16.8	15.4	17.4
Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	1.68	1.70	1.44	1.46	1.35	1.36



### Penetración

PENETRACIÓN		Carga Estándar	Molde		083		Molde		084		Molde		085	
mm.	pulg.		Carga		Corrección		Carga		Corrección		Carga		Corrección	
		kg/cm <sup>2</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %
0.00	0.000		0	0.00			0	0.0			0	0.00		
0.63	0.025		31	1.5			27	1.3			18	0.9		
1.27	0.050		78	3.9			64	3.2			47	2.3		
1.91	0.075		114	5.6			97	4.8			89	4.4		
2.54	0.100	70.4	159	7.9	7.9	11.2	141	7.0	6.9	9.8	123	6.1	6.1	8.7
3.81	0.150		239	11.8			210	10.4			182	9.0		
5.09	0.200	104.0	324	16.0	16.2	15.6	283	14.0	14.1	13.6	240	11.9	12.0	11.5

OBSERVACIONES:



Ing. Rimsky Zenon Cutimbo Chocalla

CIP. 177165  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

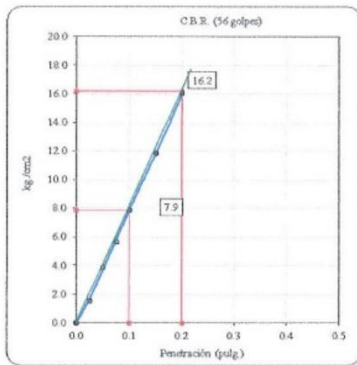


LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
ASTM D1883	
REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR	
PROYECTO :	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITA :	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ
UBICACIÓN :	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno
MATERIAL :	CALICATA 02 + 5% CEMENTO
REVISADO :	R.Z.C.Ch.
TECNICO :	R.Y.J.V.
FECHA :	Mayo del 2025
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA	
ASTM D1883	

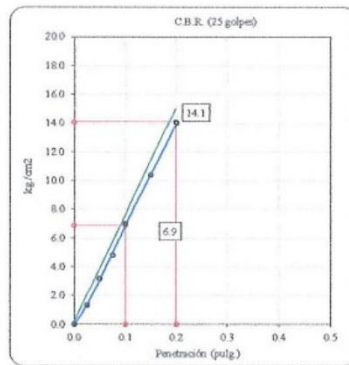
#### Datos de muestra

Máxima Densidad Seca 1.68 gr/cm<sup>3</sup>  
 Máxima Densidad Seca al 95% 1.60 gr/cm<sup>3</sup>

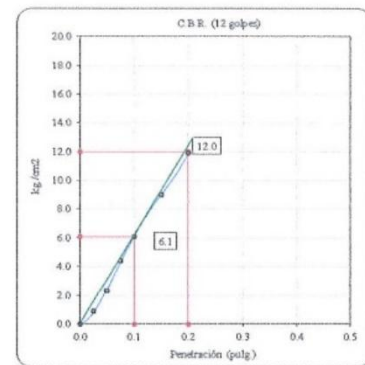
Optimo Contenido de Humedad 15.40 %



C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : 11.2 %

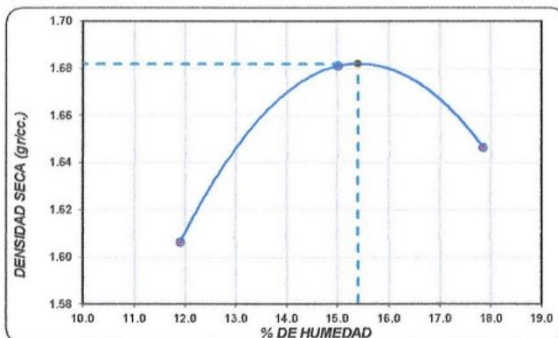


C.B.R. (0.1") 25 GOLPES : 8.8 %



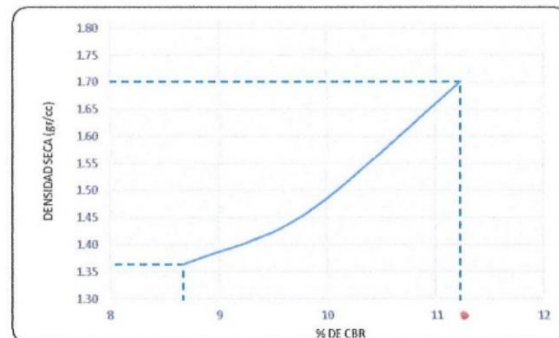
C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : 8.7 %

#### CURVA DE COMPACTACIÓN - ASTM D1557



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1": 11.2 %  
 C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.1": 8.7 %

#### CURVA CBR Vs DENSIDAD SECA



Ing. Rimsky Zemon Cutimbo Ceballos  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

(ASTM D-4318, NTP 339.129, MTC E 110/111)

#### LIMITES DE CONSISTENCIA

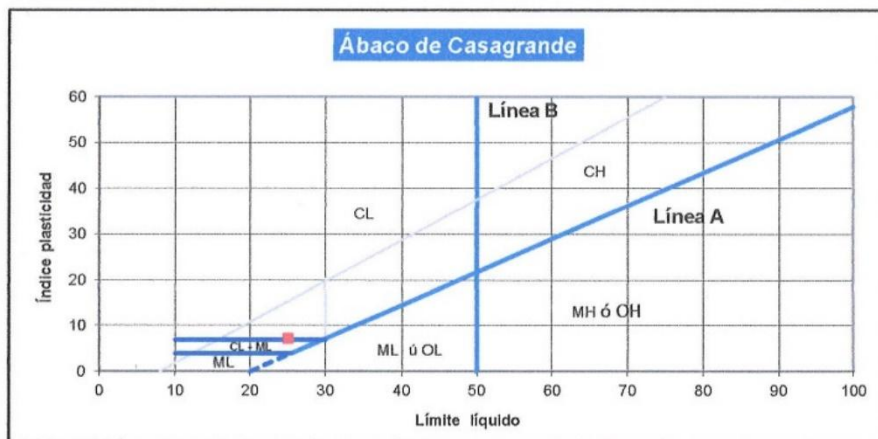
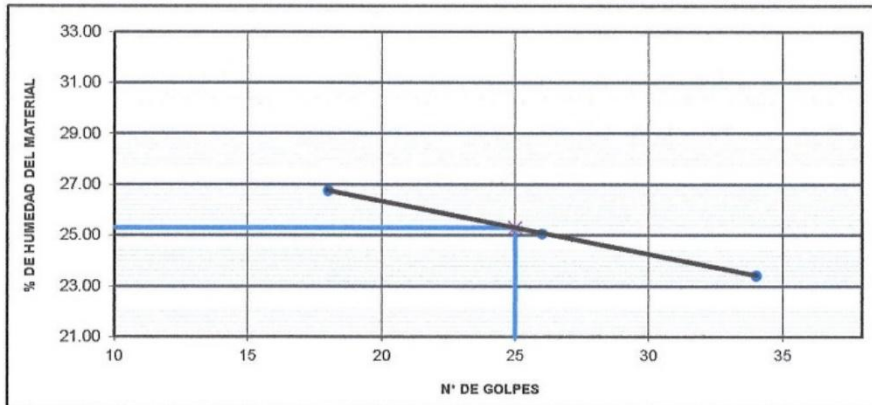
PROYECTO / OBRA : "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA"

SOLICITA : Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ  
UBICACIÓN : Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno  
MATERIAL : CALICATA 02 + 7% CEMENTO

PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.60 m  
REVISADO : R.Z.C.CH.  
TECNICO : R.Y.J.V.  
FECHA ANALISIS : Mayo del 2025

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	X-21	F-32	A-22	S-65	R-78
Nº. DE CAPSULA					
MASA TARA + SUELO HUMEDO (A)	30.18	36.29	31.55	15.99	16.08
MASA TARA + SUELO SECO (B)	26.91	32.88	28.46	14.69	14.75
MASA DE LA TARA (C)	14.69	19.28	15.27	7.11	7.59
MASA DEL AGUA (A-B)	3.27	3.41	3.09	1.30	1.33
MASA SUELO SECO (B-C)	12.22	13.60	13.19	7.58	7.16
HUMEDAD [W=(A-B)/(B-C)*100]	26.76	25.07	23.43	17.15	18.58
Nº DE GOLPES	18	26	34		

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
25.09	17.86	7.2



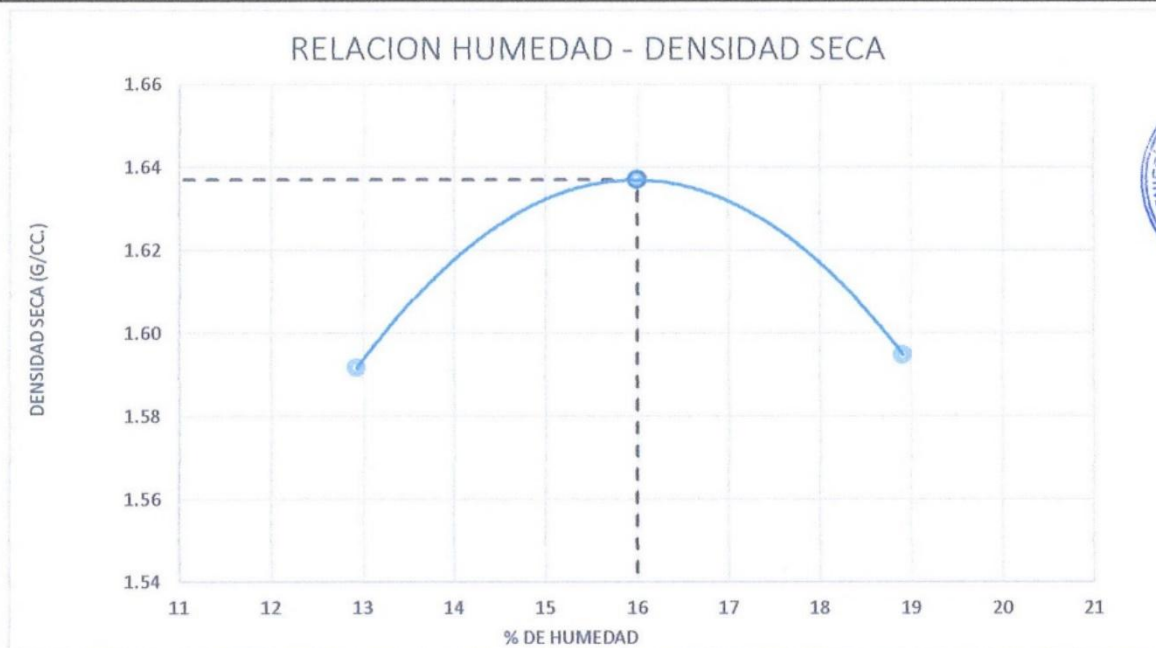
Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Rumay Zorón Cuimbo Checalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA





LABORATORIO MECANICA DE SUELOS					
ASTM D1557					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO					
<b>PROYECTO</b>	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA				
<b>SOLICITA</b>	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ		<b>REVISADO</b>	: R.Z.C.Ch.	
<b>UBICACIÓN</b>	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno		<b>TECNICO</b>	: R.Y.J.V.	
<b>MATERIAL</b>	: CALICATA 02 + 7% CEMENTO		<b>FECHA</b>	: Mayo del 2025	
Molde N°	001	Método de compactación	"C"		
Volumen Molde	2123 cm <sup>3</sup>	N° de capas	: 05		
Masa del Molde	6835 gr	N° de golpes por capa	: 56		
Determinación	N°	01	02	03	
Masa del molde y Muestra	g	10651	10866	10861	
Masa del molde	g	6835	6835	6835	
Masa de la muestra compactada	g	3816	4031	4026	
Densidad húmeda	g/cc	1.797	1.90	1.90	
Densidad seca	g/cc	1.59	1.64	1.59	
Contenido de Humedad					
Recipiente	N°	K-32	Y-76	K-88	
Masa del Recipiente	g	16.5	14.8	18.3	
Masa del Recipiente + Suelo húmedo	g	98.1	96.3	95.2	
Masa del Recipiente + Suelo seco	g	88.8	85.1	83.0	
Masa de agua	g	9.3	11.2	12.2	
Masa del suelo seco	g	72.3	70.3	64.7	
Contenido de humedad	%	12.9	16.0	18.9	
Promedio		12.9	16.0	18.9	
<b>DENSIDAD MAXIMA :</b>	<b>1.64</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD:</b>	<b>16.00</b>	<b>%</b>



### OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGENIERIA, GEOTECNIA Y CONSTRUCCION COMPANY S.A.C. - IGC COMPANY S.A.C.

Ing. Kimsy Zenon Cutimbo Checalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA





### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

ASTM D1883

#### VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA -CBR

PROYECTO	: "INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VIAS DE LA CIUDAD DE JULIACA		
SOLICITA	: Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	REVISADO	: R.Z.C.Ch.
UBICACIÓN	: Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	TECNICO	: R.Y.J.V.
MATERIAL	: CALICATA 02 + 7% CEMENTO	FECHA	: Mayo del 2025

#### CALCULO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

	086	087	088
Molde	086	087	088
Numero de capas	05	05	05
Numero de golpes	56	25	12

Condicion de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
Masa suelo humedo + molde	11852	11921	11691	11751	11361	11458
Masa molde g	7870	7870	8326	8326	8337	8337
Masa del Suelo humedo g	3982	4051	3365	3425	3024	3121
Volumen del molde g	2091	2091	2098	2098	2149	2149
Densidad humeda g/cm <sup>3</sup>	1.90	1.94	1.60	1.63	1.41	1.45
Recipiente N°						
Recipiente + suelo humedo g	88.3	92.2	97.1	91.3	99.3	94.1
Recipiente + suelo seco g	78.4	81.7	86.0	79.8	88.0	81.8
Masa del agua g	9.9	10.5	11.1	11.5	11.3	12.3
Masa de recipiente g	16.3	18.5	16.3	14.2	17.1	14.1
Masa del suelo seco g	62.1	63.2	69.8	65.6	70.8	67.7
Contenido de humedad %	16.0	16.6	16.0	17.4	16.0	18.1
Promedio de humedad	16.0	16.6	16.0	17.4	16.0	18.1
Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	1.64	1.66	1.38	1.39	1.21	1.23



#### Penetración

PENETRACIÓN		Carga Estándar	Molde Carga		086 Corrección		Molde Carga		087 Corrección		Molde Carga		088 Corrección	
mm.	pulg.	kg/cm <sup>2</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	C.B.R. %
0.00	0.000		0	0.00			0	0.0			0	0.00		
0.63	0.025		47	2.3			31	1.5			24	1.2		
1.27	0.050		89	4.4			74	3.7			61	3.0		
1.91	0.075		141	7.0			121	6.0			99	4.9		
2.54	0.100	70.4	188	9.3	9.4	13.3	175	8.7	8.5	12.1	151	7.5	7.6	10.8
3.81	0.150		281	13.9			268	13.3			241	11.9		
5.09	0.200	104.0	374	18.5	18.5	17.8	355	17.6	17.6	16.9	324	16.0	16.0	15.4

OBSERVACIONES:

Ing. Rimsky Zenon Cutimbo Checalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA



### LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ASTM D1883

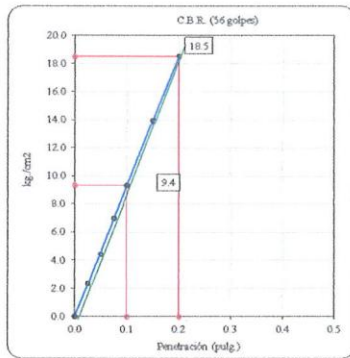
#### REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR

PROYECTO	"INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA		
SOLICITA	Bach. RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ	REVISADO	R.Z.C.Ch.
UBICACIÓN	Ciudad Juliaca - Distrito Juliaca - Provincia San Roman - Puno	TECNICO	R.Y.J.V.
MATERIAL	CALICATA 02 + 7% CEMENTO	FECHA	Mayo del 2025

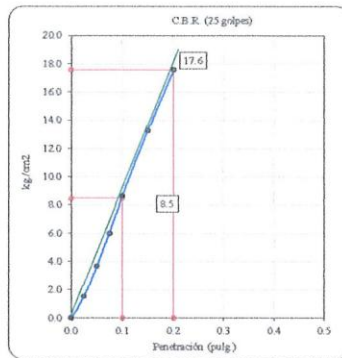
#### ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA ASTM D1883

##### Datos de muestra

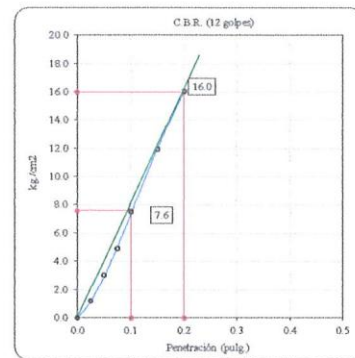
Máxima Densidad Seca \_\_\_\_\_ 1.64 gr/cm<sup>3</sup>      Optimo Contenido de Humedad \_\_\_\_\_ 16.00 %  
 Máxima Densidad Seca al 95% \_\_\_\_\_ 1.56 gr/cm<sup>3</sup>



C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : 13.3 %

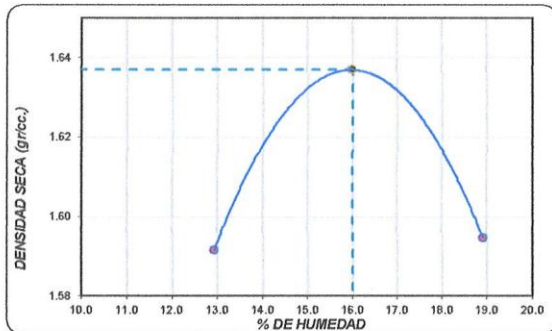


C.B.R. (0.1") 25 GOLPES : 12.1 %



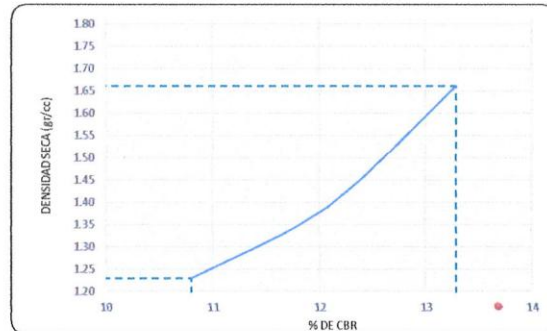
C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : 10.8 %

##### CURVA DE COMPACTACIÓN - ASTM D1557



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1": 13.3 %  
 C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.1": 10.8 %

##### CURVA CBR Vs DENSIDAD SECA



Ing. Rimsky Zenon Cutimbo Checalla  
 CIP. 177165  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA





ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 21 - 07 - 2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: RONALD YON JANAMPA VELASQUEZ

Dirección: JR. PAUCARCOLLA 291

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 77298685

Teléfono: 997 470 915

email: janampavelasquezronaldyonn@gmail.com

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

Dirección: \_\_\_\_\_

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

Teléfono: \_\_\_\_\_

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

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

Escuela Profesional o Mención: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL

Asesor: Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: INCIDENCIA DEL USO DE CAL Y CEMENTO EN EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE EN VÍAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

Palabras claves, (3 a 5 términos): Estabilización de suelos, cal, cemento, CBR, subrasante, capacidad de soporte.

¿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, entre otros relacionados.

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



2. Referencia de tesis:

- Bachiller   
  Título   
  2da Especialidad   
  Maestría   
  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

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

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

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

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

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

- Sí autorizo
- No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

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

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

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

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

*[Handwritten signature]*

Firma de Autor



huella digital

21 - 07 - 2025

Fecha