



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO
PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA
CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN
JERONIMO-CUSCO-2022.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Ciencia y Tecnología de Materiales e Insumos en
Ingeniería

Presentado por:

Mauro Baca Noa

<https://orcid.org/0009-0004-9410-2530>

Para optar al Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Mg. Ing. Eigner Román Villegas

<https://orcid.org/0000-0003-2401-707X>

CUSCO – PERÚ

2023



Metadatos

Datos del autor	
Nombres y apellidos	Mauro Baca Noa
Numero de documento de identidad	40511602
URL de Orcid	https://orcid.org/0009-0004-9410-2530
Datos del asesor	
Nombres y apellidos	Mg. Ing. Eigner Román Villegas
Número de documento de identidad	23928061
URL de Orcid	https://orcid.org/0000-0003-2401-707X
Datos del jurado	
Presidente del jurado (jurado 1)	
Nombres y apellidos	Mg. Ing. Marco Antonio Silva Palomino
Número de documento de identidad	23862951
Jurado 2	
Nombres y apellidos	Mg. Ing. José Luis Ríos Rabelo
Número de documento de identidad	44982950
Jurado 3	
Nombres y apellidos	Mg. Ing. Walter Roberto Álvarez Monterola
Número de documento de identidad	24660325
Jurado 4	
Nombres y apellidos	Mg. Ing. Ed Gutiérrez Carlotto
Número de documento de identidad	46086133
Datos de la investigación	
Línea de Investigación de la Escuela Profesional	Ciencia y Tecnología de Materiales e Insumos en Ingeniería



ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES
FÍSICO-MECÁNICAS DE UN
SUELO ARCILLOSO PARA
SUBRASANTE SOMETIDA A
CONGELAMIENTO EN LA
CARRETERA CU-123,
COMUNIDAD CONCHACALLA-
ABRA OCCORURO DEL

Submission date: 15-Feb-2024 05:21PM (UTC-0500)

Submission ID: 2499025149

File name: ultimo_mauro_baca_1.pdf (8.88M)

Word count: 68578

Character count: 328926

DISTRITO DE SAN JERONIMO-
CUSC

by Mauro Baca Noa



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO
PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA
CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN
JERONIMO-CUSCO-2022.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Ciencia y Tecnología de Materiales e Insumos en
Ingeniería

Presentado por:

Mauro Baca Noa

<https://orcid.org/0009-0004-9410-2530>

Para optar al Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Mg. Ing. Eigner Román Villegas

<https://orcid.org/0000-0003-2401-707X>

CUSCO - PERÚ

2023



ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO-CUSC

ORIGINALITY REPORT

EF 10/10/2017 V

24%

SIMILARITY INDEX

22%

INTERNET SOURCES

4%

PUBLICATIONS

12%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

Submitted to Universidad Andina del Cusco

Student Paper

8%

2

hdl.handle.net

Internet Source

6%

3

repositorio.uandina.edu.pe

Internet Source

6%

4

www.uandina.edu.pe

Internet Source

1%

5

repositorio.unsaac.edu.pe

Internet Source

1%

6

documentop.com

Internet Source

1%

7

repositorio.utea.edu.pe

Internet Source

<1%



Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: **Mauro Baca Noa**
Assignment title: **SUELO CONGELADO**
Submission title: **ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN S...**
File name: **ultimo_mauro_baca_1.pdf**
File size: **8.88M**
Page count: **263**
Word count: **68,578**
Character count: **328,926**
Submission date: **15-Feb-2024 05:21 PM (UTC-0500)**
Submission ID: **2295863749**





a) Dedicatoria

En primera instancia le dedico este trabajo y proyecto de titulación a Dios por brindarme la oportunidad y la sabiduría de culminar esta etapa y permitirme vivir y compartir gratas experiencias durante mi proceso de formación y cumplir poco a poco mis sueños y metas propuestas.

Con cariño a mi Familia, en especial al amor de mi vida Marleny Guillen. Madre de mis dos Hijos Eduardo David y Ariana Alexandra por su comprensión, y apoyo incondicional proporcionado día a día.

A mis amigo y compañeros, por sus palabras de aliento que forjaron este camino de formación profesional, por su colaboración absoluto dentro y fuera de la las aulas universitarias.



b) Agradecimientos

Llegar a este trazo de la vida de uno mismo es sencillo y a la vez dificultoso, se tienen mucho que agradecer y complicado de señalarlo en palabras. Espero me sepan entender.

Al divino creador, por darme esta oportunidad de materializar este objetivo, por encaminarme a personas que sumaron en mi formación como profesional para enrumbar un de logros profesionales.

A mi familia, a mí esposa Marleny a mis hijos Eduardo y Ariana por el apego, apoyo y comprensión que me brindaron en todos estos años.

A la Universidad Andina del Cusco, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que fue un segundo hogar en estos años de formación profesional, que me brindo, ofreció conocimientos, que me formaron como futuro profesional, de amistades y de logros, que recordare con mucho cariño y fortaleza.

Al ingeniero Mg. Román Villegas, Eigner, por su comprensión, conocimiento y guía que me brindo en el proceso de esta investigación y la paciencia de dedicación de mis Dictaminantes.



c) Resumen

La investigación tiene como objetivo principal analizar las propiedades físicas mecánicas de un suelo arcillo sometido a congelamiento, a temperaturas de -5 y -10 °C en periodo de cinco y diez días. La poca adopción de nuevas alternativas de estudio de la subrasante a altitudes por encima de los 3600 m.s.n.m. en donde el suelo llega a congelarse por presencia de heladas en periodos nocturnos y un descongelamiento durante el día, se da la investigación complementaria de las propiedades físico mecánicas del suelo a las ya conocidas para la subrasante de carreteras no pavimentadas. Dentro de las propiedades físico que fueron evaluadas se encuentra el peso específico, contenido de humedad y los límites de consistencia, para las propiedades mecánicas se tiene la capacidad de soporte CBR y la cohesión mediante la compresión no confinada mediante probetas de suelo natural y congelados, La metodología utilizada en la investigación presenta un enfoque cuantitativo en un nivel explicativo empleando el método de investigación hipotético deductivo, y el diseño metodológico es cuasiexperimental. Los resultados del muestreo se obtuvieron un suelo A-6 (6), CL (Arcilla ligera de baja plasticidad con arena) cuyo contenido de humedad fue de 16.63% en suelo natural, 16.17% en suelo sometido a congelamiento de -5 °C, y de 15.68% en suelo sometido a congelamiento de -10 °C, peso específico fue de 2.772 gr/cm³ de suelo natural, 2.753 gr/cm³ en suelo sometido a congelamiento de -5 °C, y de 2.745gr/cm³ en suelo sometido a congelamiento de -10 °C, los límites de consistencia fue de LL 29.88%, LP 18.16%, IP 11.64% en suelo natural, LL 29.98%, LP 18.24%, IP 11.75% en suelo sometido a congelamiento de -5 °C, LL 30.62%, LP 18.21%, IP 12.41% en suelo sometido a congelamiento de -10 °C, la capacidad de soporte CBR para 0.1” al 95% es de 6.65%, 6.01% y 5.51% para suelo natural y suelo congelado a -5 y -10 °C. la resistencia a la compresión simple para la cohesión fue de 0.90 kg/cm² en suelo natural, 0.75 kg/cm² en suelo sometido a congelamiento de -5 °C, 0.66 kg/cm² en suelo sometido a congelamiento de -10 °C. Lo concluyente de manera general es que el suelo congelado a temperaturas inferior a 0°C varían sus propiedades físico mecánicas del suelo para la subrasante: en la cohesión su descenso es debido al agua en la superficie de las partículas del suelo, la capacidad de soporte CBR disminuye en presencia de mayor humedad en el suelo de la subrasante disminuyendo su capacidad al corte, el contenido de Humedad varía en función de los días de congelamiento a mayor temperatura y tiempo de congelamiento el contenido de humedad se incrementa permaneciendo mayor tiempo húmedo la subrasante, el peso específico varía en función de los días de congelamiento y a menor temperatura disminuyendo su capacidad volumétrica de la subrasante, y los límites de



consistencia al igual que el contenido de humedad y el peso específico disminuye haciendo que el suelo de la subrasante se mas plástico en presencia del suelo arcilloso.

Palabras Clave: Propiedades Físico Mecánicas de Suelos, Congelamiento de Suelo, Contenido de Humedad, Peso Específico, Límites de Consistencia, CBR, Cohesión.



d) Abstract

The main objective of the research is to analyze the physical-mechanical properties of a clay soil subjected to freezing, at temperatures of -5 and -10 °C over a period of five and ten days. The low adoption of new alternatives for studying the subgrade at altitudes above 3600 m.s.n.m. where the soil freezes due to the presence of frost at night and thawing during the day, complementary research is carried out on the physical-mechanical properties of the soil to those already known for the subgrade of unpaved roads. Among the physical properties that were evaluated are the specific weight, moisture content and consistency limits, for the mechanical properties there is the CBR support capacity and cohesion through unconfined compression using natural and frozen soil specimens. The methodology used in the research presents a quantitative approach at an explanatory level using the hypothetical-deductive research method, and the methodological design is quasi-experimental. The sampling results were obtained from soil A-6 (6), CL (Light clay of low plasticity with sand) whose moisture content was 16.63% in natural soil, 16.17% in soil subjected to freezing at -5 °C, and 15.68% in soil subjected to freezing at -10 °C, weight specific was 2,772 gr/cm³ of natural soil, 2,753 gr/cm³ in soil subjected to freezing at -5 °C, and 2,745 gr/cm³ in soil subjected to freezing at -10 °C, the limits of consistency were LL 29.88%, LP 18.16%, IP 11.64% in natural soil, LL 29.98%, LP 18.24%, IP 11.75% in soil subjected to freezing of -5 °C, LL 30.62%, LP 18.21%, IP 12.41% in subjected soil at -10 °C freezing, the CBR bearing capacity for 0.1" at 95% is 6.65%, 6.01% and 5.51% for natural soil and frozen soil at -5 and -10 °C. The simple compressive strength for cohesion was 0.90 kg/cm² in natural soil, 0.75 kg/cm² in soil subjected to -5 °C freezing, 0.66 kg/cm² in soil subjected to -10 °C freezing. The general conclusion is that frozen soil at temperatures below 0°C varies its physical-mechanical properties of the soil for the surface: in cohesion, its decrease is due to the water on the surface of the soil particles, the support capacity CBR decreases in the presence of greater humidity in the soil of the subgrade, reducing its shear capacity. The moisture content varies depending on the days of freezing, at higher temperatures and freezing times, the moisture content increases, and the subgrade remains wet for a longer time. , the specific weight varies depending on the days of freezing and at lower temperatures ecreasing its volumetric capacity of the subgrade, and the consistency limits as well as the moisture content and specific weight decrease, making the subgrade soil more plastic in the presence of clay soil.



Keywords: Physical Mechanical Properties of Soils, Soil Freezing, Moisture Content, Specific Gravity, Consistency Limits, CBR, Cohesion.



e) Introducción

En el desarrollo del proceso constructivo de una carreta sea en asfalto o en concreto, el ingeniero civil converge con diversos problemas del tipo de suelo para subrasante y las condiciones de climas variados según los pisos altitudinales para la zona de construcción, las consecuencias son diversas. De ellas la variación de temperatura que se tiene a partir de los 3600 m.s.n.m. donde se tiene el congelamiento del suelo presentándose el incremento en los meses de mayo a agosto donde las temperaturas oscilan por debajo de -4°C .

La investigación trata de analizar las propiedades físico mecánicas de un suelo para subrasante en condiciones óptimas natural y un suelo congelado a temperaturas inferiores a -0°C en periodos de cinco días y diez días, con la finalidad de ver los cambios en la cohesión, CBR, límites de consistencia, contenido de humedad y el peso específico de un suelo arcilloso para subrasante. Por lo tanto, el presente trabajo de investigación pretende mostrar la variación en su propiedad para mejorar la capacidad de soporte de la subrasante de las carreteras a ser construidas en lugares donde los suelos se congelan.

En la primera parte de esta investigación, se da la descripción del problema a estudiar, señalando el lugar y la ubicación de la investigar, los periodos de congelamiento del suelo. Pasando a la formulación del problema general y específicos, así como los objetivos de la presente investigación.

En la segunda parte, se describen algunos antecedentes nacionales e internacionales de acuerdo con las variables a investigar, así como las bases teóricas de suelo natural y congelado para la subrasante, pasando al planteamiento de las hipótesis la identificación de las variables y el cuadro de operacionalización para las variables de la investigación.

La tercera parte, se presenta la metodología que se seguirá en todo el proceso de la investigación, el procedimiento, análisis de los resultados de las propiedades físico mecánicas del suelo congelado a temperaturas de -5°C y -10°C en periodos de tiempos de cinco días y diez días, para finalmente presentar las conclusiones y recomendaciones.



f) Índice General

Metadatos.....	ii
a) Dedicatoria.....	vii
b) Agradecimientos	viii
c) Resumen.....	ix
d) Abstract.....	xi
e) Introducción... ..	xiii
f) Índice General.....	xiv
g) Índice De Tablas	xx
h) Índice De Figuras.....	xxvi
Capítulo I: Planteamiento Del Problema.....	xxvi
1.1 Identificación del Problema.....	1
1.1.1. Descripción del Problema	1
1.1.2. Formulación del Problema	3
1.1.2.1. Formulación del Problema General.....	3
1.1.2.2. Formulación de los Problemas Específicos.....	3
1.2 Justificación e Importancia de la Investigación.....	4
1.2.1. Justificación por Relevancia	4
1.2.2. Justificación por Viabilidad.....	4
1.2.3. Justificación Técnica	5
1.2.4. Justificación Social	5
1.3 Delimitación de la Investigación	5
1.3.1 Limitaciones Geográficas	5
1.3.2 Limitaciones de Diseño o Tiempo.....	6
1.3.3 Limitaciones por el Material	6
1.3.4 Limitaciones de Pruebas.....	6
1.3.5 Limitaciones de Fabricación	7



1.4 Objetivo de la Investigación	7
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	7
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>	7
Capítulo II: Marco Teórico	8
2.1 Antecedentes de la tesis o Investigación Actual.....	8
2.1.1 <i>Antecedentes a Nivel Nacional</i>	8
2.1.2 <i>Antecedentes a Nivel Internacional</i>	11
2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes.....	15
2.2.1 <i>Definición de Carretera</i>	15
2.2.1.1 Clasificación de la Carretera en Estudio	15
2.2.1.1.1 Clasificación de la Carretera por su Jerarquización Vial	15
2.2.1.1.2 Clasificación por Demanda	16
2.2.1.1.3 Clasificación por Orografía	17
2.2.1.1.4 Clasificación Según el Tipo de Superficie de Rodadura	17
2.2.1.2 Base Granular de la Carretera	18
2.2.1.3 Suelo.....	19
2.2.1.3.1 Clasificación del Suelo	19
2.2.1.3.2 Sistema de Clasificación AASHTO	19
2.2.1.3.2 Sistema de Clasificación SUCS.....	22
2.2.1.3.3 Pavimento	24
2.2.1.3.4 Definición de Subrasante.....	25
2.2.1.3.5 Caracterización de la Subrasante	26
2.2.1.3.6 Sub Base y Base	27
2.2.1.3.7 Capa de Rodadura.....	27
2.2.1.3.8 Exploración de Suelos y Rocas	28
2.2.1.3.9 Ensayo Realizados Sobre el Material de Base Granular	29
2.2.2 <i>Congelamiento del Suelo</i>	40



2.2.2.1 Definición de Suelo Congelado.....	41
2.2.2.1.1 Congelamiento en Suelos Limos Saturados o Arenas Limosas	41
2.2.2.1.2 Condiciones Naturales en Suelos Limosos.....	41
2.2.2.1.3 Sistema Cerrado.....	42
2.2.2.1.4 Sistema Abierto	42
2.2.2.2 Efectos de la Heladas.	43
2.2.2.2.1 Clasificación de Suelos de Acuerdo con su Susceptibilidad a la Helada ...	43
2.2.2.2.2 Índice de Congelación	44
2.2.2.2.3 Determinación del Índice de Congelamiento y la Temperatura de Congelamiento.....	45
2.2.2.2.4 Determinación de la Temperatura de Congelamiento	47
2.2.2.2.5 Factores de Congelamiento	48
2.2.2.2.6 Equipo de Congelamiento	49
2.2.2.3. Características Geológicas y Climáticas en la Zona de Estudio	49
2.2.2.3.1 Formación Geológica Formación Soncco (Peo-so): Eoceno Medio- Oligoceno Inferior	50
2.2.2.3.2 Características Climáticas de la Zona de Estudio.....	51
2.2.2.3.3. Temperatura de la Zona de Estudio.....	51
2.2.2.3.4. Hidrografía de la Zona de Estudio.....	52
2.3 Hipótesis	53
2.3.1. <i>Hipótesis General</i>	53
2.3.2. <i>Sub Hipótesis</i>	54
2.4 Definición de Variables	54
2.4.1 <i>Variable Independientes</i>	54
2.4.2 <i>Variables Dependientes</i>	55
2.4.3 <i>Cuadro de Operacionalización de variables</i>	56
Capítulo III: Metodología.....	57
3.1 Metodología de la Investigación.....	57



3.1.1	<i>Enfoque de la Investigación</i>	57
3.1.2	<i>Nivel o Alcance de la Investigación</i>	57
3.1.3	<i>Método de Investigación</i>	58
3.2	Diseño de la Investigación.....	58
3.2.1	<i>Diseño Metodológico</i>	58
3.2.2	<i>Diseño de Ingeniería</i>	59
3.3	Población y Muestra	60
3.3.1	<i>Población</i>	60
3.3.1.1	Descripción de la Población	60
3.3.1.2	Cuantificación de la Población	60
3.3.2	<i>Muestra</i>	60
3.3.2.1	Descripción de la Muestra	60
3.3.2.2	Cuantificación de la Muestra	61
3.3.2.3	Método de Muestreo	63
3.3.2.4	Criterios de Evaluación de Muestra.....	63
3.3.3	<i>Criterios de Inclusión</i>	64
3.4	Instrumentos	65
3.4.1.	<i>Instrumentos Metodológicos y de Recolección de Datos</i>	65
3.4.2.	<i>Instrumentos de Ingeniería</i>	75
3.4.2.1.	Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado (MTC E 107, ASTM D 422).....	75
3.4.2.2.	Ensayo de Peso Específico o Gravedad Específica (MTC E 113, NTP 339.131).....	75
3.4.2.3.	Ensayo de Contenido de Humedad (MTC E 108, ASTM D2216).....	76
3.4.2.4.	Ensayo de Índices de Plasticidad.	77
3.4.2.4.1.	Ensayo de Limite Liquido (MTC E110, NTP 339.129).....	77
3.4.2.4.2.	Ensayo de Limite Plástico e Índice de Plasticidad (MTC E 111, NTP 339.129).....	78



3.4.2.5. Ensayo de Proctor Modificado (MTC E 115, ASTM D698).....	78
3.4.2.6. Ensayo de Índice de Soporte de California CBR en Laboratorio (MTC E 132, ASTM D1883.3).....	79
3.4.2.7. Ensayo de Compresión No Confinada para la Cohesión (MTC E 123, ASTM D2166).....	80
3.5. Procedimientos de Recolección de Datos.....	81
3.5.1 Muestreo de Suelo (MTC E 101).	81
3.5.2 Granulometría del Suelo por Tamizado (MTC E 107, ASTM D422)	86
3.5.3 Peso Específico o Gravedad específica (MTC E 113, ASTM C-128).....	91
3.5.4 Contenido de Humedad (MTC E 108, ASTM D2216)	97
3.5.4 Limite Líquido (MTC E110, NTP 339.129)	101
3.5.5 Limite Plástico e Índice de Plasticidad (MTC E111, NTP 339.129).....	106
3.5.6 Proctor Modificado (MTC E-115, ASTM D698)	112
3.5.7 Índice de Soporte de California CBR en Laboratorio (MTC E 132, ASTM D1883.3)	116
3.5.8 Cono de Penetración Dinámica PDC (ASTM D 6351)	120
3.5.8 Compresión No Confinada para la Cohesión (MTC E 121, ASTM D2166)	130
3.6. Procedimientos de Análisis de Datos	137
3.6.1 Determinación de la Estratificación de Suelo	137
3.6.2 Determinación de la Granulometría del Suelo	139
3.6.3 Determinación del Peso Específico	145
3.6.4 Determinación del Contenido de Humedad.....	149
3.6.5 Determinación del Límite Líquido (L.L.).....	153
3.6.6 Determinación del Límite Plástico (L.P.)	157
3.6.7 Determinación de la Clasificación del Suelo.....	161
3.6.8 Determinación del Proctor Modificado.....	166
3.6.9 Determinación del Capacidad de Soporte CBR	169
3.6.10 Determinación de la Cohesión Mediante Compresión No Confinada	183



Capítulo IV: Resultados	190
4.1 Comparación del Peso Específico	190
4.2 Comparación del Contenido de Humedad.....	191
4.3 Comparación de los Límites de Consistencia.....	192
4.4 Comparación de la Capacidad de Soporte CBR.....	193
4.5 Resultados de la Cohesión mediante la Compresión No Confinada	202
Capítulo V: Discusión	205
5.1 Contraste de Resultados con Referentes del Marco Teórico	205
5.2 Interpretación de los Resultados Encontrados en la Investigación.....	207
5.3 Comentario de la Demostración de la Hipótesis	209
5.4 Aporte de la Investigación	209
Glosario.....	211
Conclusiones.....	214
Recomendaciones.....	217
Referencias.....	218
Apéndices.....	222
Anexos.....	229



g) Índice De Tablas

Tabla N°1.-	Característica Básica para la Superficie de Rodadura de las Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito.....	18
Tabla N°2.-	Nomenclatura para el sistema de Clasificación AASHTO.....	20
Tabla N°3.-	Correlación del Tipos de Suelos para Clasificación AASHTO.....	21
Tabla N°4.-	Sistema Unificado de Clasificación para Suelos (SUCS)	23
Tabla N°5.-	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	24
Tabla N°6.-	Numero de Calicatas por exploración de Suelos	27
Tabla N°7.-	Clasificación de Suelos Según Índice de Grupo.....	28
Tabla N°8.-	Clasificación de suelos según su Índice de Plasticidad.	33
Tabla N°9.-	Métodos Usados para el Ensayo Proctor Modificado.	35
Tabla N°10.-	Porcentaje de CBR para Calificar la Subrasante	38
Tabla N°11.-	Tipos de Suelos.....	44
Tabla N°12.-	Temperaturas Mínimas mayo, junio, Julio, agosto del año 2020 y 2019 según SENAMHI Estación Metereológica de Kayra.	46
Tabla N°13.-	Temperatura Media Anual.....	47
Tabla N°14.-	Temperaturas mínimas a la que alcanza el congelador	49
Tabla N°15.-	Cuadro de Operacionalización de variables	56
Tabla N°16.-	Valores de Nivel de Confianza y Errores Máximos Estimados	61
Tabla N°17.-	Cantidad de Ensayos a Realizar.....	63
Tabla N°18.-	Modelo de Observación en Laboratorio: Peso Especifico.....	65
Tabla N°19.-	Modelo de Observación en Laboratorio: Análisis Granulométrico.....	66
Tabla N°20.-	Modelo de Observación en Laboratorio: Contenido de Humedad	67
Tabla N°21.-	Modelo de Observación en Laboratorio: Limite Liquido.....	68
Tabla N°22.-	Modelo de Observación en Laboratorio: Limite Plástico.....	69
Tabla N°23.-	Modelo de Observación en Laboratorio: Proctor Modificado.....	70
Tabla N°24.-	Modelo de Observación en Laboratorio: CBR	71
Tabla N°25.-	Modelo de Observación en Laboratorio: Expansión CBR	72



Tabla N°26.-	Modelo de Observación en Laboratorio: Penetración CBR	73
Tabla N°27.-	Modelo de Observación en Laboratorio: Compresión No Confinada	74
Tabla N°28.-	Tamices Necesarios para Granulometría	75
Tabla N°29.-	Tipo de Suelo Para la Gravedad Especifica.....	76
Tabla N°30.-	Valores Mínimos de Contenido de Humedad.....	76
Tabla N°31.-	Estratificación del Suelo Calicata-01, km 15.310	84
Tabla N°32.-	Estratificación del Suelo Calicata-02, km 14.650	84
Tabla N°33.-	Estratificación del Suelo Calicata-03, km 14.125	85
Tabla N°34.-	Recolección de Datos del Análisis Granulométrico para Calicata N°-01, km 15.310, estrato N°4 a una profundidad 1.60m.....	88
Tabla N°35.-	Recolección de Datos del Análisis Granulométrico para Calicata N°-02, km 14.650 estrato N°4 a una profundidad de 1.60m.....	89
Tabla N°36.-	Recolección de Datos del Análisis Granulométrico para Calicata N°-03, km 14.125 estrato N°4 a una profundidad de 1.50m.....	90
Tabla N°37.-	Recolección de Datos del Peso Específico para Suelo Natural calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.....	94
Tabla N°38.-	Recolección de Datos del Peso Específico para Suelo Congelado a -5 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.....	95
Tabla N°39.-	Recolección de Datos del Peso Específico para Suelo Congelado a -10 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.....	96
Tabla N°40.-	Recolección de Datos para el Contenido de Humedad de Suelo Natural calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.....	99
Tabla N°41.-	Recolección de Datos para el Contenido de Humedad de Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.....	100
Tabla N°42.-	Recolección de Datos para el Contenido de Humedad de Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.....	101
Tabla N°43.-	Recolección de Datos para el Limite Liquido de Suelo Natural, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.....	104



Tabla N°44.- Recolección de Datos para el Límite Líquido de Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.	105
Tabla N°45.- Recolección de Datos para el Limite Liquido de Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.	106
Tabla N°46.- Recolección de Datos para el Limite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelo Natural, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.	109
Tabla N°47.- Recolección de Datos para el Limite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.	110
Tabla N°48.- Recolección de Datos para el Limite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.	111
Tabla N°49.- Recolección de Datos para el Proctor Modificado de Suelo Natural, calicata N°2 estrato 4 y espesor de 30 cm.	115
Tabla N°50.- Caída del mazo en prueba del PDC.	120
Tabla N°51.- Recolección de Datos para el CBR de Suelo Natural, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48 cm.	122
Tabla N°52.- Recolección de Datos para la Expansión del CBR de Suelo Natural, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48 cm.	123
Tabla N°53.- Recolección de Datos para la Penetración del CBR de Suelo Natural, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48 cm.	124
Tabla N°54.- Recolección de Datos para el CBR de Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C, calicata N°2 estrato 4 y espesor de 30 cm.	125
Tabla N°55.- Recolección de Datos para la Expansión del CBR de Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48 cm.	126
Tabla N°56.- Recolección de Datos para la Penetración del CBR de Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48 cm.	127
Tabla N°57.- Recolección de Datos para el CBR de Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48 cm.	128
Tabla N°58.- Recolección de Datos para la Expansión del CBR de Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48 cm.	129



Tabla N°59.- Recolección de Datos para la Penetración del CBR de Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48 cm.	130
Tabla N°60.- Recolección de Datos para Compresión No Confinada de Suelo Natural, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.	134
Tabla N°61.- Recolección de Dato para Compresión No Confinada de Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.	135
Tabla N°62.- Recolección de Dato para Compresión No Confinada de Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.	136
Tabla N°63.- Estratos de la calicata N°-01, progresiva km 15.310.....	137
Tabla N°64.- Estratos de la calicata N°-02, progresiva km 14.650.....	138
Tabla N°65.- Estratos de la calicata N°-03, progresiva km 14.125.....	138
Tabla N°66.- Granulometría de Calicata N°-01, progresiva km 14.125.	140
Tabla N°67.- Granulometría de la calicata N°-02, progresiva km 14.650	142
Tabla N°68.- Granulometría de la calicata N°-03, progresiva km 15.310	144
Tabla N°69.- Peso Específico de Suelo Natural.....	146
Tabla N°70.- Peso Específico de Suelo Congelado a -5 °C	147
Tabla N°71.- Peso Específico de Suelo Congelado a -10 °C	148
Tabla N°72.- Contenido de Humedad de Suelo Natural	150
Tabla N°73.- Contenido de Humedad de Suelo Congelado a -5 °C.....	151
Tabla N°74.- Contenido de Humedad de Suelo Congelado a -10 °C.....	152
Tabla N°75.- Límite Líquido de Suelo Natural	154
Tabla N°76.- Límite Líquido de Suelo Congelado a -5 °C	155
Tabla N°77.- Límite Líquido de Suelo Congelado a -10 °C	156
Tabla N°78.- Límite Plástico de Suelo Natural	158
Tabla N°79.- Límite Plástico de Suelo Congelado a -5 °C	159
Tabla N°80.- Límite Plástico de Suelo Congelado a -10 °C	160
Tabla N°81.- Clasificación del material para Subrasante en Carreteras	162
Tabla N°82.- Compactación de Suelo Natural	168



Tabla N°83.-	Datos de CBR de suelo natural.....	171
Tabla N°84.-	Datos de expansión de CBR para suelo natural.....	172
Tabla N°85.-	Datos de penetración de CBR de suelo natural	173
Tabla N°86.-	Corrección de CBR.....	174
Tabla N°87.-	CBR para 0.1” = 2.54 mm	174
Tabla N°88.-	CBR al 95% y 100% del MDS	174
Tabla N°89.-	Datos de CBR para Suelo Congelado a -5 °C	175
Tabla N°90.-	Datos de CBR para la Expansión de suelo Congelado a -5 °C.....	176
Tabla N°91.-	Datos del CBR de la Penetración de Suelo Congelado a -5 °C.....	177
Tabla N°92.-	CBR Corregido	178
Tabla N°93.-	CRB para 0.1” = 2.54mm	178
Tabla N°94.-	CBR al 95% y 100% del MDS	178
Tabla N°95.-	Datos de CBR para Suelo Congelado a -10 °C	179
Tabla N°96.-	Datos del CBR para la Expansión de Suelo Congelado a -10 °C.....	180
Tabla N°97.-	Datos del CBR par a la penetración de Suelo Congelado a -10 °C.....	181
Tabla N°98.-	CBR Corregido	182
Tabla N°99.-	CBR para 0.1” = 2.54mm	182
Tabla N°100.-	CBR al 95% y 100% del MDS	182
Tabla N°101.-	Datos para la compresión simple.....	184
Tabla N°102.-	Esfuerzos normales y cortante para la cohesión.....	185
Tabla N°103.-	Datos de suelo congelado a -5 °C.....	186
Tabla N°104.-	Esfuerzos normales y cortantes para suelo congelado a -5 °C	187
Tabla N°105.-	Datos para compresión simple de suelo congelado a -10 °C.....	188
Tabla N°106.-	Esfuerzo normales y cortantes para suelo congelado a -10 °C.....	189
Tabla N°107.-	Resumen de resultados de los ensayos de Peso Específico.....	190
Tabla N°108.-	Resumen de resultados de ensayo de contenido de humedad.	191
Tabla N°109.-	Resuenen de resultados de ensayo de límites de consistencia.....	192



Tabla N°110.- Comparación del CBR de Compactación de Suelo Natural Congelado a -5 °C y -10 °C.....	193
Tabla N°111.- Comparación de la Expansión del CBR para 55 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	193
Tabla N°112.- Comparación de la Expansión del CBR para 26 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	194
Tabla N°113.- Comparación de la Expansión del CBR para 12 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	195
Tabla N°114.- Comparación de la Penetración del CBR para 55 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	196
Tabla N°115.- Comparación del CBR y Densidad Seca para 55 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	197
Tabla N°116.- Comparación de la Penetración del CBR para 26 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	198
Tabla N°117.- Comparación del CBR y Densidad Seca para 26 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	199
Tabla N°118.- Comparación de la Penetración del CBR para 12 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	199
Tabla N°119.- Comparación del CBR y Densidad Seca para 12 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	200
Tabla N°120.- Comparación del CBR al 95% de su MDS para suelo natural y congelado a -5 °C y -10 °C.....	201
Tabla N°121.- Comparación de resultados de ensayo de Compresión Simple.	202
Tabla N°122.- Resumen de esfuerzos cortantes y normales para la Compresión Simple....	203
Tabla N°123.- Comparación de la Cohesión de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	204



h) Índice De Figuras

Figura N°1.-	Condiciones Actuales de la Carretera.....	2
Figura N°2.-	Ubicación del tramo en estudio.	2
Figura N°3.-	El Suelo.....	19
Figura N°4.-	Carta de Plasticidad de la SUCS.....	22
Figura N°5.-	Estructura de Pavimento mostrando la subrasante.	24
Figura N°6.-	Estructura de Pavimento Rígido y Flexible.....	25
Figura N°7.-	Tamices para prueba granulométrica.....	30
Figura N°8.-	Límites de Atterberg.....	30
Figura N°9.-	Instrumento, Cuchara de Casa Grande.....	31
Figura N°10.-	Rollo Formado con el Suelo de 3mm de Diámetro.....	31
Figura N°11.-	Límites de los Suelo.....	32
Figura N°12.-	Equipos para determinar el Peso Específico del Suelo.....	34
Figura N°13.-	Molde para Proctor Modificado.....	35
Figura N°14.-	Martillo de Compactación o Pistón de golpe.....	35
Figura N°15.-	Fases de los Suelos.....	36
Figura N°16.-	Esquema del PDC.....	38
Figura N°17.-	Equipos Necesarios para CBR.....	39
Figura N°18.-	Esquema de la ubicación de la cohesión.	40
Figura N°19.-	Equipo de compresión simple.....	40
Figura N°20.-	Cosos de Formación de Hielo en Suelos Finos.....	42
Figura N°21.-	Sistema Abierto de Suelo Congelado.....	43
Figura N°22.-	Índice de Congelamiento.....	45
Figura N°23.-	Índice de congelamiento mes agosto 2019.....	46
Figura N°24.-	Alturas de Congelamiento del Suelo.....	48
Figura N°25.-	Mapa Geomorfológico del Distrito de San Jerónimo.....	50
Figura N°26.-	Mapa Geológico del Distrito de San Jerónimo.....	51



Figura N°27.- Mapa Climático Nacional.....	52
Figura N°28.- Mapa Hidrográfico del Distrito de San Jerónimo.....	53
Figura N°29.- Equipo Necesario para Limites de Consistencia	77
Figura N°30.- Equipo necesario para Proctor Modificado	79
Figura N°31.- Equipo Necesario para CBR.....	80
Figura N°32.- Esquema de Compresión No Confinada.....	81
Figura N°33.- Delimitación de la zona de estudio km 14.125 a km 15.310 de la carretera Conchacalla abra Occoruro.	82
Figura N°34.- Excavación de la calicata N°-01, km 15.310 de la carretera Conchacalla abra Occoruro.....	82
Figura N°35.- Excavación de la calicata N°-02, km 14.650 de la carretera Conchacalla abra Occoruro.....	83
Figura N°36.- Excavación de la calicata N°-03, km 14.125 de la carretera Conchacalla abra Occoruro.....	83
Figura N°37.- Muestra extraída de la calicata N°-01, km 15.310	85
Figura N°38.- Muestra extraída de la calicata N°-02, km 14.650	86
Figura N°39.- Cuarteo de la muestra para el tamizado.....	87
Figura N°40.- Proceso del tamizado mecánico.....	87
Figura N°41.- Granulometría de la muestra.....	87
Figura N°42.- Proceso de Tamizado calicata N°+-03	91
Figura N°43.- Muestra preparada para peso específico.	92
Figura N°44.- Procedimiento para el Peso Especifico.....	92
Figura N°45.- Muestra congelada para el Peso Específico para suelo congelado a -5 °C.....	93
Figura N°46.- Muestra congelada para el Peso Específico para suelo congelado a -10 °C...	93
Figura N°47.- Proceso de secado para contenido de humedad.....	97
Figura N°48.- Muestra congelada para Contenido de Humedad para suelo congelado a -5 °C.....	98



Figura N°49.- Muestra congelada para Contenido de Humedad para suelo congelado a -10 °C.....	98
Figura N°50.- Uso de la cuchara de Casa Grande.	102
Figura N°51.- Muestra congelada para Límite Líquido para suelo congelado a -5 °C.....	103
Figura N°52.- Muestra congelada para Límite Líquido para suelo congelado a -10 °C.....	103
Figura N°53.- Obtención de Cilindros para Límite Plástico.....	107
Figura N°54.- Muestra congelada a -5 °C, para Límite Plástico.	108
Figura N°55.- Muestra Congelada a -10 °C para Límite Plástico.	108
Figura N°56.- Muestra pasada por el tamiz N-04.....	112
Figura N°57.- Muestras puestas al horno.....	113
Figura N°58.- Peso de la muestra luego de compactado	113
Figura N°59.- Adecuación del material para la prueba Proctor.....	114
Figura N°60.- Colocación del filtro para prueba BCR.	117
Figura N°61.- Sumergido en agua las muestra de CBR.	117
Figura N°62.- Muestra extraída después de los cuatro días.....	118
Figura N°63.- Lectura de los diales para CBR.	118
Figura N°64.- Muestra congelada a -5 °C, para CBR.....	119
Figura N°65.- Muestra congelada a -10 °C para CBR.....	119
Figura N°66.- Colocación del instrumento PDC en el suelo.	120
Figura N°67.- Ultima caída del mazo de la prueba PDC.....	121
Figura N°68.- Equipo especializado en la prueba del PDC.....	121
Figura N°69.- Extracción de la Muestra para Compresión Simple calicata N°2.....	131
Figura N°70.- Tallado de la muestra para compresión no confinada.	131
Figura N°71.- Lectura de los diales en Compresión Simple.....	132
Figura N°72.- Muestra congelada a -5 °C para Compresión No Confinada.....	132
Figura N°73.- Muestra congelada a -10 °C para Compresión no Confinada	133
Figura N°74.- Curva Granulométrica de Calicata N°-01 progresiva km 14.125.....	141



Figura N°75.- Gradación de la calicata N°-01 progresiva km 14.125.....	141
Figura N°76.- Curva granulométrica de la calicata N°-02, progresiva km 14.650.....	143
Figura N°77.- Gradación de la calicata N°-02, progresiva km14.650.....	143
Figura N°78.- Curva granulometría de la calicata N-03, progresiva km 15.310.....	145
Figura N°79.- Gradación de la calicata N°-03, progresiva km 14.125.....	145
Figura N°80.- Grafica de Peso Específico Promedio de Suelo Natural.....	146
Figura N°81.- Grafica de Peso Específico Promedio de Suelo Congelado a -5 °C.....	147
Figura N°82.- Peso Específico Promedio de Suelo Congelado a -10 °C.....	148
Figura N°83.- Grafica del Contenido de Humedad de Suelo Natural	150
Figura N°84.- Grafica de Contenido de Humedad de Suelo Congelado a -5 °C.....	151
Figura N°85.- Grafica de Contenido de Humedad de Suelo Congelado a -10 °C.....	152
Figura N°86.- Límite Líquido de Suelo Natural	154
Figura N°87.- Límite Líquido de Suelo Congelado a -5 °C	155
Figura N°88.- Límite Líquido de Suelo Congelado a -10 °C	156
Figura N°89.- Límite Plástico de Suelo Natural	158
Figura N°90.- Límite Plástico de Suelo Congelado a -5 °C	159
Figura N°91.- Límite Plástico de Suelo Congelado a -10 °C	160
Figura N°92.- Clasificación de Suelos SUCS.....	164
Figura N°93.- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	165
Figura N°94.- Curva de Compactación de Suelo Natural.....	169
Figura N°95.- Grafica de expansión de suelo natural.....	172
Figura N°96.- Grafica de la penetración de Suelo Natural.....	173
Figura N°97.- Grafica de CBR y Densidad Seca.....	174
Figura N°98.- Gráfico de la Expansión de CBR para Suelo Congelado a -5 °C.....	176
Figura N°99.- Gráfico de la Deformación de Suelo Congelado a -5 °C.....	177
Figura N°100.- Grafica del CBR y Densidad Seca.....	178
Figura N°101.- Grafica de la expansión de suelo congelado a -10 °C	180



Figura N°102.- Gráfico de la Penetración para Suelo Congelado a -10 °C.....	181
Figura N°103.- Grafica del CBR y Densidad Seca.....	182
Figura N°104.- Grafica de la compresión simple.	184
Figura N°105.- Grafica de Circulo de Mohr para la cohesión.....	185
Figura N°106.- Grafica de la compresión simple para suelo congelado a -5 °C	186
Figura N°107.- Circulo de Mohr para suelo congelado a -5 °C	187
Figura N°108.- Grafica de compresión simple para suelo congelado a -10 °C	188
Figura N°109.- Circulo de Mohr para suelo congelado a -10 °C	189
Figura N°110.- Comparación del Peso Específico de Suelo Natural con Suelo Congelado a -5 °C y -10 °C.....	190
Figura N°111.- Comparación de Contenido de Humedad de Suelo Congelado a -5 °C y -10 °C.....	191
Figura N°112.- Comparación de Límite Líquido Plástico e Índice de Plasticidad de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	192
Figura N°113.- Gráfica de la comparación de la Expansión del CBR para 55 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	194
Figura N°114.- Gráfica de la comparación de la Expansión del CBR para 26 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	195
Figura N°115.- Grafica de la comparación de la Expansión del CBR para 12 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	196
Figura N°116.- Gráfica de la Comparación de la Penetración del CBR para 55 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	197
Figura N°117.- Gráfica de la Comparación de la Penetración del CBR para 26 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	198
Figura N°118.- Gráfica de la Comparación de la Penetración del CBR para 12 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C.....	200
Figura N°119.- Grafica comparativo de ensayo de Compresión Simple.....	203
Figura N°120.- Grafica del círculo de Mohr para comparar la compresión simple de un suelo natural y congelado a -5 °C y de -10 °C.....	204



Capítulo I: Planteamiento Del Problema

1.1 Identificación del Problema

1.1.1. Descripción del Problema

Las estructuras de suelo en la Región Andina del Perú, están expuestas a diferentes condiciones climáticas, estas son: la excesiva variación de temperatura, precipitación pluvial y otros factores climáticos, los que inciden directamente en la reducción de la vida útil de una obra vial. Uno de estos factores es la temperatura que puede cambiar bruscamente en sólo 24 horas (Durante el día puede llegar hasta 21°C y durante la noche disminuir muy por debajo de los 0°C). Esto hace que el suelo como elemento estructural, sufra procesos de congelamiento y descongelamiento. (León Warthon & Tarco Góngora, 2000, pág. 4).

Actualmente debido a la variación excesiva de la temperatura por diversos factores climáticos la temperatura en provincias altas de la región Cusco descienden por debajo de los cero grados y aun así, se da la construcción de carreteras en forma sostenida a consecuencia del crecimiento económico y poblacional que se viene dando en nuestro país, en consecuencia las carreteras se están realizando en lugares a altitudes superiores a los 3600 m.s.n.m. una de ellas es la carretera interprovincial Cusco , provincia Paruro y provincia Acomayo con clasificación.

CU-123 de la red Vial departamental según D.S. N°011-2016-MTC, como es en el sector del abra Occoruro entre la comunidad de Conchacalla y Occoruro del distrito de San Jerónimo Departamento Cusco, donde suele descender la temperatura en la noche a menos de -6.5°C y por el día suben por lo menos a 24.8°C (SENAMHI & Kayra, 2022), mediante un proceso de regionalización la temperatura para la zona en estudio es de -5 °C. y -10 °C a una altitud de 3957 m.s.n.m. Esta variación repentina de temperaturas hace que el suelo de la subrasante se congele y descongele en periodos cortos de tiempo, lo que ocasiona la perdida de las propiedades físico mecánicas, haciendo que disminuya la resistencia a la capacidad de soporte, generando problemas de transitabilidad presentándose fisura, hundimiento en la carpeta de rodadura.



Figura N°1.- Condiciones Actuales de la Carretera.



Fuente: Elaboración propia

La carretera en estudio es de 22.350 km, iniciando en la intersección con la vía de evitamiento km 0+000 a la altura de la plaza de chimpahuaylla hasta el abra de Occoruro km 22+350, que corresponde a la red vial departamental, que une los distritos de san jerónimo, Rondocan en la provincia de Acomayo y las provincias de Paruro. Según DG-2018 es clasificada como una carretera de tercer orden, cuya plataforma es afirmada el ancho promedio de 5.5 m. El tramo estudiado está comprendido entre el km 14+125 y km 15+310. De acuerdo a las calicatas se identificó la presencia de estratos de arcillas a una profundidad promedio de 0.80 m en dicho tramo, ubicación del tramo en estudio imagen del Google Earth.

Figura N°2.- Ubicación del tramo en estudio.



Fuente: Elaboración propia

La capacidad de soporte de los suelos están en función al peso específico, si estos disminuyen por fenómenos de congelamiento y descongelamiento, entonces su capacidad de soporte también disminuye, esto es perjudicial para las carreteras, porque podría aumentar los movimientos verticales ocasionando fisuras o grietas, también podría ocasionar disminución en



el soporte de los suelos causando hundimientos que luego se reflejarían en fisuras grietas y/o baches, y esto sería perjudicial a la vida útil de la carretera para su transitabilidad.

Lo más importante para todo proyecto de ingeniería, en lo referente a carreteras no pavimentadas, es evitar los movimientos verticales y que la capacidad soporte cumpla con los factores de seguridad establecidos. Pero normalmente no se toma en cuenta la disminución de los parámetros de resistencia de los suelos por fenómenos de congelamiento. La intención de la presente tesis de investigación es comparar las propiedades físicas y mecánicas de un suelo en condiciones normales (temperatura ambiente) con un suelo congelado a temperaturas de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a una altitud por encima de los 3600 m.s.n.m. y $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a altitudes superior a los 4215m.s.n.m. según la carretera en estudio, para ser tomados en cuenta en el diseño de carreteras o para ser despreciados los valores, según los resultados de esta investigación.

1.1.2. Formulación del Problema

1.1.2.1. Formulación del Problema General

¿Cómo varían Las Propiedades Físico Mecánicas de un Suelo Arcilloso para Subrasante Sometida a Congelamiento en la Carretera CU-123, Comunidad Conchacalla-Abra Occoruro del Distrito De San Jerónimo Cusco-2022?

1.1.2.2. Formulación de los Problemas Específicos

PE1: ¿Cómo varían el Índice de Plasticidad de un suelo arcilloso al ser sometido a bajas temperaturas para subrasante en la Carretera CU-123 Comunidad Conchacalla del Distrito de San Jerónimo Cusco?

PE2: ¿Cómo varían el Peso Específico Máximo seco de un suelo arcilloso al ser sometido a bajas temperaturas para subrasante en la carretera CU-123 Comunidad Conchacalla del Distrito de San Jerónimo Cusco?

PE3: ¿Cómo varían el Contenido de Humedad Óptima de un suelo arcilloso al ser sometido a bajas temperaturas para subrasante en la Carretera CU-123 Comunidad Conchacalla del Distrito de San Jerónimo Cusco?

PE4: ¿Cómo varían el Índice de Soporte de California (CBR) de un suelo arcilloso al ser sometido a bajas temperaturas para subrasante en la Carretera CU-123 Comunidad Conchacalla del Distrito de San Jerónimo Cusco?



PE5: ¿Cómo variará la Cohesión de un suelo arcilloso al ser sometido a bajas temperaturas para subrasante en la Carretera CU-123 Comunidad Conchacalla del Distrito de San Jerónimo Cusco?

1.2 Justificación e Importancia de la Investigación

1.2.1. Justificación por Relevancia

En la investigación de las propiedades Físicos Mecánicas de los suelos arcillosos sometidos a congelamiento y descongelamiento, nos permite profundizar y aplicar conocimientos de ingeniería y mecánica de suelos. Para brindar soluciones diversas e innovadoras una vez conocidas las dificultades del suelo arcilloso para subrasante de carretera afirmadas y contralas los movimientos verticales, los hundimientos, así como las fisuras que se producen por este proceso. Con ello se pretende realizar una contribución en lo que respecta al conocimiento de la mecánica de suelos.

1.2.2. Justificación por Viabilidad

Resulta viable la realización de la presente investigación desde los siguientes aspectos:

Económicos: La investigación de las propiedades físicos mecánicas de los suelos arcillosos no requiere una inversión económica elevada, para el congelamiento se utilizará una congeladora o refrigeradora para simular las temperaturas de congelamiento del suelo y los ensayos para las propiedades físico mecánicas serán realizados en un Laboratorio de Suelos y Materiales sea externo o de los laboratorios de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Andina del Cusco.

Humanos: La realización de esta investigación sobre las propiedades físicos mecánicas de los suelos arcillosos es factible, ya que existe acceso a una teoría necesaria y suficiente para realizar los ensayos requeridos, así como a los conocimientos básicos la mecánica de suelos en las propiedades físico-mecánicas de un suelo arcilloso sometido a congelamiento.

Materiales y Equipos: Los materiales que usaremos en el trabajo de investigación será un suelo arcilloso de la zona de la vía Conchacalla Abra Occoruro del distrito de San Jerónimo Región Cusco, así como los equipos obligatorios para esta investigación de las propiedades físicos mecánicas de los suelos arcillosos.



1.2.3. Justificación Técnica

Cuando en la construcción de obras viales de asfaltado y de pavimento se presentan suelos arcillosos a una altitud superiores a los 3600 m.s.n.m. y se presenta el proceso de congelamiento en la capa de la subrasante, es recomendable mejorar las propiedades de dicho material, puesto que la subrasante en la vía es la capa de la estructura que soporta las cargas de diseño de las vías asfaltadas y pavimentadas. Debido a que la subrasante es la parte que sostiene la estructura en la vía, es de suma importancia que cumpla con las condiciones necesarias de resistencia requeridas para poder soportar las cargas a las cuales estará sometido la carretera.

Al conocer las temperaturas a la que llegan el suelo a congelarse dentro de proceso constructivo se podrá determinar la utilización de algunos aditivos en la capa de la subrasante de aquellos suelos arcillosos que se encuentra a niveles mayores a los 3600 m.s.n.m.

1.2.4. Justificación Social

Esta carretera presenta suelos de tipo arcilloso que no es beneficioso para la y transpirabilidad de la zona no pudiendo desarrollarse adecuadamente el intercambio Económico y Social de los pobladores de Conchacalla, Usphabamba quienes se encuentra en el tramo de estudio, al igual para los pobladores de los distrito de Rondocan, Paruro quienes desarrollan su intercambio comercial con la ciudad de Cusco, debido al mal estado de la carretera en temporadas de lluvias y de friaje produciendo y deterioro en la carpeta de rodadura. Además, en la actualidad, se ha presentado un crecimiento en su IMD. Debido a la cual se debe de mejorar la condición de transpirabilidad de dicha carretera. Ya que existe la necesidad de contar con una carretera en condiciones óptimas de operabilidad.

1.3 Delimitación de la Investigación

1.3.1 Limitaciones Geográficas

Los resultados de esta investigación de las propiedades Físicos Mecánicas de los suelos arcillosos serán válidos para la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla abra Occoruro del distrito de San Jerónimo, esto debido a que cada sector cuenta con parámetros y características únicas en cuanto a sus propiedades Físico Mecánicas de los suelos.



Así mismo, este puede ser replicado y aplicado a otros suelos que se encuentren a similares altitudes dentro del departamento Cusco y/o País, previo análisis y estudio de los suelos presentes en la zona de estudio para evaluar su comportamiento con el congelamiento a nivel de la subrasante.

1.3.2 Limitaciones de Diseño o Tiempo

Los ensayos a ser realizados serán en un suelo arcilloso, este suelo no es óptimo para ser utilizado como subrasante en la construcción de las carreteras, para este fin, la intención de la investigación es en la comparación de las propiedades Físicos Mecánicas de un suelo arcilloso, sometidos a procesos de congelamiento y descongelamiento a temperaturas de -5°C y de -10°C , con un suelo natural en condiciones normales, en tiempos de cinco y diez días de congelamiento de la muestra.

1.3.3 Limitaciones por el Material

Se usará los siguientes materiales en el presente trabajo de investigación

- Se limita a suelos arcillosos para uso de subrasante
- Se limita a las normas técnicas peruana de suelos
- Se limita a la congelación del suelo a temperaturas de -5°C y -10°C
- Se limita los días de congelamiento y descongelamiento de cinco días y diez días

1.3.4 Limitaciones de Pruebas

- Clasificación y estratificación de los suelos, Manual de ensayos de materiales MTC 2016
- Granulometría de los suelos, Manual de ensayos de materiales MTC 2016
- Contenido de Humedad (%) de los suelos, Manual de ensayos de materiales MTC 2016
- Límites de consistencia (%) de los suelos, Manual de ensayos de materiales MTC 2016
- Ensayo de Proctor modificado (gr/cm^3) de los suelos, Manual de ensayos de materiales MTC 2016
- Relación de soporte de california (CBR) de los suelos, Manual de ensayos de materiales MTC 2016
- Compresión simple de los suelos, Manual de ensayos de materiales MTC 2016



1.3.5 Limitaciones de Fabricación

- Para las propiedades mecánicas del suelo las muestras o unidades para congelamiento serán de cm y kg. De acuerdo a cada ensayo a realizarse.
- Máquina de congelamiento, congeladora o refrigeradora y un termohidrometro para medir las temperaturas de congelamiento.

1.4 Objetivo de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

Analizar en qué medida varía las propiedades físico-mecánicas de un suelo arcilloso para subrasante sometida a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco 2022.

1.4.2. Objetivos Específicos

OE1: Determinar la variación del índice de plasticidad de un suelo arcilloso para subrasante sometida a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.

OE2: Determinar la variación del peso específico máximo seco de un suelo arcilloso para subrasante sometida a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.

OE3: Medir la variación del contenido de humedad óptima de un suelo arcilloso para subrasante sometida a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.

OE4: Analizar el índice de soporte de californio (CBR) de un suelo arcilloso para subrasante sometida a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.

OE5: Evaluar la variación de la cohesión de un suelo arcilloso para subrasante sometida a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.



Capítulo II: Marco Teórico

2.1 Antecedentes de la tesis o Investigación Actual

2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional

1.- En la tesis de pregrado denominada “**Analizar la Influencia de los ciclos de Congelamiento y Descongelamiento en las propiedades Físico – Mecánicas del suelo de subrasante de la carretera entre el Anexo Phusa y la C.C. de Acchahuata de la Provincia de Calca Regio Cusco**”, realizada por (Zapata Huamán, 2020), de la Universidad Alas Peruanas en la que se analizó el comportamiento del suelo en ciclos de congelamiento y descongelamiento a 2 días, 7 días y 15 días para los ensayos de corte directo y compresión simple. Las muestras estudiadas se extrajeron de la carretera entre el Anexo Phusa y la C. C. de Acchahuata de la Provincia de Calca Región Cusco en los Km 5+000, Km 10+000 y Km 15+000 realizando una calicata por kilómetro que, mediante los ensayos de contenido de humedad, límites de consistencia, granulometría, Proctor modificado y CBR se clasificó según el método de AASHTO como un suelo de tipo A-1-b (0) y mediante SUCS grava limosa con arena (GM). Al momento de congelar y descongelar las muestras con una temperatura de -9°C durante la noche y durante el día con 11°C para los ensayos de corte directo y compresión simple se vio que el suelo sometido a estos ciclos de congelamiento y descongelamiento disminuyen los parámetros de resistencia de ello se arriba a las siguientes conclusiones: La tendencia es de disminuir el ángulo de fricción interna promedio (ϕ) a medida de que se incrementan los días de los ciclos de congelamiento y descongelamiento en un 10.48%, en cambio la cohesión promedio tiene la tendencia de aumentar en un 35.96%. La tendencia es de disminuir el módulo de elasticidad a medida que se incrementan los días de los ciclos de congelamiento y descongelamiento en un 44%, 27% y 44.97% respectivamente. La tendencia es de disminuir la compresión axial no confinada (q_u) y cohesión promedio a medida que se incrementan los días de los en ciclos de congelamiento y descongelamiento en un 27% respectivamente. Como conclusiones se obtuvieron. Primero la influencia de los ciclos de congelamiento y descongelamiento en las propiedades físico - mecánicas del suelo tienen la tendencia de disminuir en los parámetros de resistencia a medida que se incrementan los días de los ciclos de congelamiento y descongelamiento. Segundo la influencia de los ciclos de congelamiento y descongelamiento en la resistencia al esfuerzo cortante tiene la tendencia de disminuir el ángulo de fricción interna promedio (ϕ) a medida que se



incrementan los días de los ciclos de congelamiento y descongelamiento en un 10.48% como muestra el gráfico N° 80, en cambio la cohesión promedio tiene la tendencia de aumentar en un 35.96% como muestra el gráfico N° 81. Tercero la influencia de los ciclos de congelamiento y descongelamiento en el módulo de elasticidad tiene la tendencia de disminuir a medida que se incrementan los días de los ciclos de congelamiento y descongelamiento en un 44%, 27% y 44.97% como muestran los gráficos N° 82, 83 y 84 respectivamente. Cuarto la influencia de los ciclos de congelamiento y descongelamiento en la compresión simple tiene la tendencia de disminuir en la compresión axial no confinada (q_u) y cohesión promedio a medida que se incrementan los días de los en ciclos de congelamiento y descongelamiento en un 27% como muestran los gráficos N° 85 y 86 respectivamente.

El aporte de la tesis al presente trabajo de investigación es en cuanto a su forma de comparación de sus propiedades físicas y mecánicas al manejo de porcentajes de incremento y descenso de sus valores ya que en la tesis estudio claramente su propiedad mecánica del proceso de congelamiento mientras en el trabajo de investigación se consideró el estudio de BCR y de la Compresión Simple y de las propiedades físicas del suelo natural y congelado.

- 2.- En la tesis de pregrado denominada **“Aplicación de Grasa Orgánica Residual ante Ciclos de Congelamiento/Descongelamiento en Suelo de Subrasante de la Calle Muña, Altoqosqo-Cusco”**. Realizada por (Quispe Chavez, 2022). De la Universidad César Vallejo. La metodología de esta investigación fue de tipo aplicado, enfoque cuantitativo, diseño cuasiexperimental, nivel explicativo, la población estuvo conformado por las calicatas de la calle Muña, tres calicatas integran la muestra y el muestreo fue no probabilístico. Los resultados, en cuanto a la resistencia a la compresión de probetas dosificadas al 0%, 3%, 6% y 9% de grasa orgánica y sometidos a ciclos de congelamiento/descongelamiento fue 7.63 kg/cm², 11.39 kg/cm², 14.87 kg/cm² y 9.62 kg/cm² respectivamente, el CBR (95%.MDS) mejoró de 3.87% a 6.95%, al adicionar grasa orgánica en 3%, 6% y 9%: El O.C.H. disminuyó de 8.30% a 8.21%, 7.85% y 7.48%, la M.D.S. aumentó de 1.38 gr/cm³ a 1.41 gr/cm³, 1.55 gr/cm³ y 1.47 gr/cm³, finalmente la altura de ascensión capilar en 60 minutos disminuyó de 74.0mm a 29.0mm, 26.5mm y 21.0mm respectivamente. Se concluye que la grasa orgánica residual mejora la resistencia de 7.63 kg/cm² a 14.87 kg/cm², incrementó el CBR en un 80%, con una M.D.S. de 1.55 gr/cm³ y un O.C.H. de 7.85%. Palabras clave: Grasa



orgánica, congelamiento/descongelamiento, subrasante, CBR. Como conclusiones se tuvieron La resistencia a la compresión de probetas dosificadas al 0%, 3%, 6% y 9% de grasa orgánica y sin ciclos de congelamiento y descongelamiento fue de 8.24 kg/cm², 11.69 kg/cm², 15.02 kg/cm² y 9.87 kg/cm² respectivamente, por otro lado, la resistencia a la compresión de probetas dosificadas al 0%, 3%, 6% y 9% de grasa orgánica y sometidos a ciclos de congelamiento y descongelamiento fue de 7.63 kg/cm², 11.39 kg/cm², 14.87 kg/cm² y 9.62 kg/cm² respectivamente. Concluyendo que la grasa orgánica residual influye ante los ciclos de congelamiento y descongelamiento del suelo de subrasante, obteniéndose como la dosificación optima que tuvo mayor influencia, a la adición del 6% de grasa orgánica residual al suelo natural seco, con una variación de 0.15 kg/cm² (15.02 kg/cm² -14.87 kg/cm²) que es la menor variación con respecto a las otras dosificaciones. El CBR (95%MDS) de la muestra de suelo natural sin dosificación de tipo CL (arcilla de baja plasticidad) fue de 3.87%, al dosificar el suelo natural en: 3%, 6% y 9% de grasa orgánica residual, resultó: 6.34%, 6.95% y 5.86% de CBR (95%MDS) respectivamente. Se aprecia que la resistencia del suelo incrementa para las dosificaciones de 3% y 6%, y disminuye para la dosificación de 9% de grasa orgánica residual. Por lo que, su aplicación en el suelo de subrasante es óptima con la dosificación del 6% de grasa orgánica residual, incrementando en un 80% el CBR (95%MDS) con respecto al suelo natural, pasando de una subrasante pobre a regular según pavimentos urbanos (CE. 010). En la presente investigación se ha realizado para obtener el óptimo contenido de humedad (O.C.H.) el ensayo de Proctor estándar-método A, al suelo natural sin ninguna dosificación, obteniendo como resultado 8.30%, al adicionar grasa orgánica residual al suelo natural en las dosificaciones de 3%, 6% y 9% el O.C.H. se redujo a 8.21%, 7.85% y 7.48% respectivamente. Se concluye que la incorporación de grasa orgánica residual en el suelo de subrasante, disminuye el O.C.H. La máxima densidad seca (M.D.S.) del suelo natural sin dosificación fue de 1.38 gr/cm³, al adicionar grasa orgánica residual al suelo natural en las dosificaciones de 3%, 6% y 9%, la M.D.S. aumento a 1.41 gr/cm³, 1.55 gr/cm³ y 1.47 gr/cm³ respectivamente. Se concluye, que la grasa orgánica residual mejora en la densificación del suelo favoreciendo en el proceso de compactación del suelo de subrasante. En la presente investigación, la altura de ascensión capilar del suelo natural sin ninguna dosificación resulto un valor de 74.0mm en 60 minutos, al adicionar grasa orgánica residual en las dosificaciones de 3%, 6% y 9%, resultó una altura de ascensión capilar de 29.0mm, 26.5mm y 21.0mm en 60 minutos respectivamente. Se concluye, que la grasa orgánica



residual influye en la ascensión capilar en el suelo de subrasante reduciendo su permeabilidad.

El aporte de la tesis al presente trabajo de investigación es cuanto a su forma de estudio de la subrasante y a la forma de congelamiento y descongelamiento del suelo para subrasante incorporado con grasa orgánica impidiendo así que la partículas de suelo se congelen y sus valores de propiedades físicas y mecánica se incrementen mientras en el presente trabajo de investigación se trabajó con suelo natural para ver los resultados de como varían sus propiedad físicas y mecánicas del suelo antes de mejorar el suelo para su proceso de construcción.

2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional

- 1) En la tesis de pregrado denominada “**Análisis de las Propiedades Físico-Mecánicas y CBR de Suelos Cohesivos de Subrasante Mezclados con Partículas de Tereftalato de Polietileno (PET)**”, presentada por (Ocampo Guerrero , 2021) de la Universidad Técnica de Ambato UTA Ecuador. Para emplearlos en la conformación de subrasante. Para la investigación se tomaron 4 muestras de suelo natural de 3 puntos diferentes dentro de la parroquia Sevilla don Bosco en el Cantón Morona, provincia de Morona Santiago con un total de 12 muestras de suelo cohesivo, para lo que se retiró la capa vegetal y recolectó aproximadamente 40 kilogramos de muestra natural; al igual que se recolectaron botellas de tereftalato de polietileno (PET) que fueron trituradas en la recicladora Proplasticmax S.A. Se realizaron ensayos de campo y laboratorio con muestras de suelo natural y muestras de suelo combinadas con partículas de tereftalato de polietileno (PET), determinando: el tipo de suelo, características, propiedades físico-mecánicas y CBR. Se observó un aumento en el CBR de 8,4 por ciento a 11,4 por ciento. Los resultados para CBR, junto con los resultados del análisis vehicular se emplearon en el diseño de la estructura de un pavimento flexible y se compararon estos espesores obteniendo una reducción de 5 centímetros en el espesor total de la estructura vial. Como Conclusiones se Tuvieron, Según los resultados obtenidos en los límites de consistencia del suelo, aplicando los parámetros del Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS) las muestras analizadas pertenecen a un suelo CH, es decir arcillas inorgánicas de alta plasticidad y arcillas francas; al igual que aplicando los parámetros de clasificación de la AASHTO se obtiene un suelo A7-5 denominado como arcillas



expansivas. Las muestras analizadas presentan una granulometría uniforme, debido a que la mayor parte de las partículas pertenecen a una graduación menor a 0,075 mm y los resultados de los coeficientes de uniformidad (Cu) y curvatura (Cc) presentan valores menores al mínimo. Permitiendo determinar que mediante la adición de porcentajes mayores a 2,5% o partículas más grandes de PET, es decir mayores al tamiz N°4, se puede alcanzar una correcta granulometría. Se obtuvieron mediante el ensayo de Proctor modificado tipo B los valores de contenido de humedad óptimo, el cual varía entre 30% y 37% para muestras naturales, al igual que varía entre 23,80% y 31,9% para muestras combinadas con partículas de tereftalato de polietileno (PET). Se compararon los porcentajes del grado de compactación, obteniendo 99,18% para muestras naturales y 99,91% para muestras combinadas con el 2,5% de tereftalato de polietileno (PET), observando que las muestras alteradas presentan un mejoramiento en la compactación del 0,73%. Se concluye que el suelo extraído de la parroquia Sevilla Don Bosco no puede ser aplicado directamente en la conformación de subrasante después de su extracción, debido a que el contenido de humedad inicial presenta valores entre 5,98 y 9,80 veces el contenido de humedad óptimo. Al incrementar el porcentaje de partículas de tereftalato de polietileno (PET), se reduce la cantidad de muestra natural, disminuyendo de esta forma el contenido de humedad óptimo que requiere el suelo cohesivo en estudio para llegar a la densidad seca máxima, observando que la diferencia de contenido de humedad es mayor al incrementar el porcentaje de partículas de tereftalato de polietileno (PET), en el caso de estudio se aplicó un máximo del 2,5% de PET del peso del suelo en estado seco. El comportamiento de la densidad seca máxima en relación con el contenido de humedad óptimo permite evidenciar que estas propiedades están relacionadas de forma directamente proporcional, ya que para conseguir densidades menores es necesario reducir el contenido de humedad óptimo, lo que a su vez se consigue incrementando los porcentajes de partículas de tereftalato de polietileno (PET). Se obtuvieron los porcentajes de CBR de las muestras naturales con un valor máximo de 8,9 y en muestras combinadas con partículas de tereftalato de polietileno (PET) con un valor máximo de 18,8 con una adición de 2,5% de PET, como se puede evidenciar en la tabla 16. Se obtuvo un TPDA proyectado a 20 años de 275 vehículos por día y un W18 de diseño de 1333383, perteneciendo a una carretera tipo IV y según la clasificación del MOP es una colectora - vecinal, cumpliendo con sus funciones de conectar a los pueblos y comunidades que no son interceptados por vías colectoras de mayor importancia o corredores arteriales. En el diseño de la estructura



vial de un pavimento flexible, para el cálculo de los coeficientes estructurales se tomó valor de CBR% de 80 para base y CBR% de 20 para subbase. Se calcularon los espesores de la estructura de un pavimento flexible para un CBR de 8,9% y 18,8% para subrasante, obteniendo 7,50 cm para la carpeta asfáltica en ambos casos, 15,00 cm en el espesor de la base en los dos casos de estudio y una reducción de 10,00 cm en el espesor de la sub base, alcanzando una reducción total de 10,00 cm en el espesor de la estructura vial. Mediante investigación bibliográfica se encontraron los parámetros para el cálculo del espesor de la subrasante mejorada, el cual emplea los números estructurales calculados para los valores de CBR de diseño 8,9% y 18,8%, un coeficiente estructural que dependerá del CBR de reemplazo y el coeficiente de drenaje de la vía, obteniendo un espesor de 12,00 cm.

El aporte de la tesis al presente trabajo de investigación es en cuanto a la unificación de la toma de muestras ya que en este trabajo se tomaron cuatro muestras o calicatas y doce ensayos, en el trabajo de investigación de tomo 3 calicatas a diferentes altitudes y se desarrollaron 41 muestras o ensayos de laboratorio dentro de los tres procesos como son suelo natural y dos procesos en suelos congelados. Ya que la toma de muestras es muy importante para una investigación y este trabajo me ayudo a determinar la cantidad y formas de muestras a tomar para el trabajo de investigación.

- 2) En la tesis de pregrado denominada “**Estimación de la Profundidad de Penetración de la Helada para Suelos Naturales Homogéneos Predominantes en la Ciudad de Punta Arenas**”, presentado por (Guerrero Campos, Oyarzo Cayupel D. R., 2004) de la Universidad de Magallanes Chile. la cual ha sido utilizada exitosamente en países como E.E.U.U. y Canadá. En primer término, es necesario recopilar y analizar datos meteorológicos de temperaturas medias diarias del aire de la ciudad de Punta Arenas en un periodo mínimo de 10 años consecutivos, como también registros de estudios de mecánica de suelos y certificados de laboratorio. Además, se obtendrán los parámetros climáticos regionales involucrados en la estimación de la profundidad de penetración de la helada para la ciudad de Punta Arenas, los que corresponden al índice de congelamiento del aire y periodo de duración máxima de la helada. Su determinación se hará probabilísticamente considerando periodos de retorno de 100 años, ya que el comportamiento que presentan las temperaturas medias diarias del aire de la ciudad, difiere significativamente a la de los países antes mencionados, siendo imposibles



obtenerlos gráficamente. Finalmente, se zonificará la profundidad de penetración de la helada por cota, cada 50 metros hasta llegar a los 500 metros sobre el nivel del mar, y de esta forma visualizar su comportamiento frente a la altitud. Como conclusiones se tuvieron. Respecto a la estimación de la profundidad de penetración de la helada para los suelos predominantes de la ciudad de Punta Arenas a la cota 6 m.s.n.m. se puede concluir que: Los suelos finos analizados (ML, MH, CL-ML, CL y CH), presentan profundidades de penetración de helada que van desde 0.19 m para suelos MH hasta 0.25 m para suelos CL y CL-ML. Los suelos gruesos analizados (SM, SP-SM, SW-SM, SM-SC, SC), presentan profundidades de penetración de helada que van desde 0.28 m para los suelos SM y SW-SM hasta 0.34 m para el suelo SP-SM. El suelo vegetal analizado (OL), presentó una profundidad de penetración de helada igual a 0.19m. Con respecto a las propiedades de los tipos de suelos analizados, involucradas en la estimación de la profundidad de penetración de la helada, se puede concluir lo siguiente: Los suelos finos, con altos índices de plasticidad, presentan valores de profundidades de penetración de helada bajos, en relación al mismo tipo de suelo con índices de plasticidad bajos. Los suelos gruesos, mal graduados, presentan valores de profundidades de penetración de heladas altos, en relación al mismo tipo de suelo con buena gradación. Conforme al periodo que considera el estudio, podemos concluir que, para un año calendario tipo representativo para la ciudad de Punta Arenas a la cota de 6 m.s.n.m. presenta solo un día, una temperatura media diaria del aire bajo los cero grados Celsius, la cual corresponde a -0.4°C en el mes de julio. De acuerdo a lo expuesto, se puede concluir que, los parámetros climáticos regionales más representativos involucrados en la estimación de la profundidad de penetración de la helada para la ciudad de Punta Arenas, a la cota 6 m.s.n.m. son: el índice de congelamiento del aire ($39.83^{\circ}\text{C-día}$) y la duración de la helada (9.58 días), para un periodo de retorno de 100 años. Respecto a la profundidad de penetración de la helada y su comportamiento frente a la altitud se puede concluir que: Dentro de los 100 m.s.n.m. los suelos analizados no presentan grandes diferencias en los resultados obtenidos. Entre los 100 m.s.n.m. y 450 m.s.n.m. estas diferencias aumentan, lo que se ve reflejado en la pendiente de la curva que proyectan. Entre los 450 y 500 m.s.n.m. si bien, no existe un gran incremento en la profundidad entre los diversos suelos analizados.

El aporte de la tesis al presente trabajo de investigación es correspondiente a la forma de tomar datos para el índice de congelamiento en la tesis tomo diez años y determino



la temperatura más crítica en el mes de julio a mes cuatro grados centígrados, en mi trabajo de investigación se consideró también los diez últimos años entre el 2022 y el 2010 considerando que no se tomaron registro de temperaturas en los meses de cuarentena aun así se tiene un buen registro de datos para la determinación del índice de congelamiento y la temperatura más crítica de -6°C en el mes de julio de acuerdo (SENHAMI estación de Kayra) a los promedios obtenidos durante este periodo de años.

2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes

2.2.1 Definición de Carretera

La carretera es una infraestructura para el transporte vial en perfectas condiciones de transpirabilidad comprendida dentro de una faja denominada derecho de vía que varían de acuerdo a la categoría de la carretera, con el fin de permitir la adecuada circulación de vehículos de manera continua, con niveles adecuados de seguridad y comodidad para el conductor y los peatones. (Cárdenas Grilsales, 2013)

Al aumentar día a día la población mundial se incrementa igualmente la cantidad y uso del vehículo, creando la necesidad de construir, ampliar o mejorar las carreteras. Igualmente, la evolución que en los últimos años han tenido los vehículos y economía de los usuarios y a la protección del entorno ambiental, imponen a las carreteras el cumplimiento de condiciones técnicas muy rigurosas. (Agudelo Ospina, 2002)

2.2.1.1 Clasificación de la Carretera en Estudio

La clasificación de la carretera en estudio está basada de acuerdo a las condiciones de funcionalidad, por la demanda, según su orografía y el tipo de rodadura de al igual del material que está conformada la carpeta en cada estrado que lo conforma dicha carretera.

2.2.1.1.1 Clasificación de la Carretera por su Jerarquización Vial

El Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) se jerarquiza en las siguientes tres redes viales: Red Vial Nacional referido al país, Red Vial Departamental o Regional referido a las regiones y Red Vial Vecinal o Rural referido a los distritos, según los criterios:



Son parte de la Red Vial Nacional, las carreteras que cumplan cualesquiera de los siguientes criterios: Interconectar al país a lo largo y ancho, permitiendo la conectividad con los demás países vecinos y las capitales de departamento de cada región. Soportar un tránsito vehicular de larga distancia esto puedes ser nacional o internacional trasladando personas y/o mercancías, mejorando el intercambio comercial interno o del comercio exterior entre países vecinos. La articulación de las vías férreas, puertos y aeropuertos a nivel nacional.

Son parte de la Red Vial Departamental o Regional, las carreteras que cumplen cualesquiera de los siguientes criterios: Interconectar la capital de los departamentos con las capitales de provincias o viceversa haciendo una conectividad fluida, mejorar la circulación de las personas y el comercio interior que tengan influencia en el movimiento económico de cada región. Y estar conectado las capitales de distritos dentro de una provincia con la cual se forman los circuitos con otras carreteras regionales a la red nacional.

Son parte de la Red Vial Vecinal o Rural, son aquellas que conectan los distritos dentro de una provincia estas carreteras no son incluidas en la Red Vial Nacional o en la Red Vial Departamental o Regional. (MTC M. , 2007)

➤ **Red Vial Vecinal o Rural**

Constituida por las carreteras que conforman la red vial circunscrita al ámbito local, cuya función principal es articular las capitales de provincia con las capitales de los distritos, y estos a la vez con centros poblados o zonas de influencia local y con las redes viales nacional y departamental o regional. (MTC M. , 2007)

2.2.1.1.2 Clasificación por Demanda

➤ **Trocha Carrozables**

Son vías en las que pueden transitar vehículos dichas vías no cumplen las características geométricas de diseño bajo normas establecidas, que por lo general tienen un Índice Medio Diaria Anual (IMDA) menor a los 200 veh/día. Su ancho de alzada debe tener como mínimo 4.00 m, para tal caso se construirá ensanches dónde se puede cruzar los vehículos, por lo menos cada 500 m. La parte de la rodadura puede ser afirmada o sin afirmar. (MTC-DG-, 2018)



2.2.1.1.3 Clasificación por Orografía

➤ Terreno Ondulado Tipo (II)

Son las carreteras que a lo largo del eje transversal tiene una pendiente de 11% y 50% y a través de su eje longitudinal se encuentran pendientes de 3% y 6 %, para los cuales se desliza movimiento de tierras simples a moderado, lo que permite considerar alineamientos rectos, alternados con curvas de radios amplios para los giros de los vehículos, sin mayores dificultades durante su transpirabilidad (MTC-DG-, 2018)

2.2.1.1.4 Clasificación Según el Tipo de Superficie de Rodadura

➤ Carretera No Pavimentada

Son aquellas vías que tienen una capa delgada de asfalto o estabilizadas mediante aditivos, pero que no pasaron por un proceso de pavimentación. En el manual de diseño para carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito para vehículos, ha considerado que se utilizarán los siguientes materiales en los tipos de superficie de rodadura:

- Carreteras de tierra conformada por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo manual o mecánico.
- Carreteras gravosas constituidas por una capa de revestimiento con material natural de piedra menuda sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo, cuya piedra tiene el tamaño máximo de 75 mm.
- Carreteras afirmadas o compactada constituidas por una capa de revestimiento con materiales seleccionada de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada a su máxima compactación, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños de material o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo del material de 25mm.
- Carreteras con superficie de rodadura estabilizada con materiales industriales sean naturales o químicos: Grava con superficie estabilizada con diferentes materiales. Cal, aditivos químicos y otros tipos de aditivos naturales o químicos. Estabilizados con: material granular para una mejor compactación y materiales finos llamados ligantes. (Gutiérrez Montes, 2010)



Tabla N°1.- Característica Básica para la Superficie de Rodadura de las Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito

CARRETERA DE BVT	IMD PROYECTADO	ANCHO DE CALZADA (M)	ESTRUCTURAS Y SUPERFICIE DE RODADURA ALTERNATIVAS (**)
T3	101-200	2 carriles 5.50-6.00	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeado o por chancado) con superficie de rodadura adicional (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado
T2	51-100	2 carriles 5.50-6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado, min. 15 cm.
T1	16-50	1 carril(*) o 2 carriles 3.50-6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado, min. 15 cm.
T0	< 15	1 carril(*) 3.50-4.50	Afirmado (tierra) En lo posible mejorada con grava seleccionada por zarandeo, perfilado y compactado, min. 15 cm
Trocha carrozable	IMD indefinido	1 sendero(*)	Suelo natural (tierra) en lo posible mejorado con grava natural seleccionada; perfilado y compactado.

(*) Con plazoletas de cruce, adelantamiento o volteo cada 500 – 1000 m; mediante regulación de horas o días, por sentido de uso.

(**) En caso de no disponer gravas en distancia cercana las carreteras puede ser estabilizado mediante técnicas de estabilización suelo-cemento o cal o productos químicos u otros.

Fuente: (MTC M. , 2008)

2.2.1.2 Base Granular de la Carretera

Es aquella capa de material pétreo seleccionado que se construye generalmente sobre la Sub Base o por encima de la subrasante, cuyas funciones principales son: proporcionar una base firme de apoyo uniforme a la carpeta de rodadura, que va a soportar las cargas que esta trasmite, aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediatamente inferior, proporcionar a toda la estructura de pavimento la rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas, drenar el agua que se pueda infiltrar e impedir el ascenso capilar del agua.

En los firmes de carreteras los materiales granulares sueltos desempeñan un importante papel estructural. Esto es así porque, por un lado, durante la etapa de construcción del firme éstos soportan el tráfico de obra y proporcionan un cimiento sobre el cual las capas superiores puedan situarse y compactarse. Por otro lado, en un firme terminado actúan como amortiguadores de las cargas del tráfico. (Pérez Navarro Vázquez, 2015)



2.2.1.3 Suelo

El suelo se define como un agregado dentro de la ingeniería o mezcla de tierra de diferentes tamaños no cementado esta puede ser material fino y grueso las cuales contienen vacíos que son completados por agua o simplemente los espacios son vacíos. El suelo es utilizado como material de construcción en obras de ingeniería civil las cuales sirven para soportar las cimentaciones o las primeras partes de una construcción por eso es primordial el estudio y entender sus propiedades del suelo. (Das, 1985).

Figura N°3.- El Suelo



Fuente: <https://queesela.net/suelo/>

2.2.1.3.1 Clasificación del Suelo

De acuerdo a la teoría utilizada en la mecánica de suelos, existen dos clasificaciones generales para los suelos: SUCS y AASHTO. Esta última es utilizada para la clasificación de suelos cuando se trata de un proyecto de pavimentación o carreteras, la cuál va más relacionada con nuestra investigación.

2.2.1.3.2 Sistema de Clasificación AASHTO

Es un sistema de clasificación que fue desarrollada por los años 1929 como el Sistema de Clasificación de la Oficina de Caminos Públicos. Desde su aparición dicho sistema fue modificado en varias oportunidades hasta la versión actual del Comité para la Clasificación de Materiales para Subrasante y Caminos Tipo Granulares del Consejo de Investigaciones Carreteras del año 1945 (Prueba D-3282 de la ASTM; método AASHTO M145).



Este Sistema “AASHTO” denominado American Asociación of State Highway and Transportation Officials cuyas siglas significa Asociación Americana de Transporte Oficial. En cuyo sistema de clasificación se usa actualmente, como se muestra en la tabla N°2 en el presente trabajo de investigación. De acuerdo con este modelo de clasificación, el suelo está clasificado en siete grupos mayores: A-1 al A-7. Los grupos de suelos clasificados de A-1, A-2 y A-3 son muestras granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la malla No. 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la malla No. 200 son los grupos A-4, A-5, A-6 Y A-7. clasificados como muestras finas.

Tabla N°2.- Nomenclatura para el sistema de Clasificación AASHTO

Clasificación general	materiales granulares (35% o menos pasa la No 200)							materiales limo arcillos (mas de 35% pasa la No 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5*
Analisis de cernido porcentaje que pasa:											
Nº. 10	50 max										
Nº. 40	30 max	50 max	51 min								
Nº. 200	15 max	25 max	50 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
características de la fracción que pasa la Nº. 40											
Limite liquido				40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Indice de plasticidad	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Indice de grupo	0		0	0		4 max		8 max	12 max	16 max	20 max
* A - 7 - 5 : IP < wL - 30 **A - 7 - 6 : IP > (wL - 30)											
$IG = 0.2(a)+0.005*(a*c)+0.01*(b*d)$											

Fuente: Bowles Joseph E. Manual de Laboratorios de Suelos en Ingeniería Civil

La mayoría de esta clasificación están conformados por materiales limo y material o suelo arcilloso. La clasificación se basa en los siguientes criterios:

A) Tamaño del Grano

Grava. - Fracción de material que pasa la malla de 75 mm y es concentrada o retenida en la malla N° 10 (2 mm).

Arena. - Fracción de material que pasa la malla No. 10 (2 mm). Y es concentrada o retenida en la malla N° 200 (0.075 mm).



Limo y arcilla: Fracción que pasa de material por la malla N° 200.

- Plasticidad: En los limoso es aplicado a las fracciones de suelo finos cuyo índice de plasticidad es menor a 10. En cambio, en la arcilla es aplicado cuando las fracciones de suelo finos su índice de plasticidad esta entre 3 y 10.
- El canto rodado o boles de material de tamaños mayores que 75 mm, estas muestras se excluyen de la fracción de suelos finos pero su porcentaje es registrado dentro de la clasificación.

Para la clasificación del suelo de acuerdo con la tabla N°2 de la clasificación AASHTO, las muestras clasificadas son colocados de izquierda a derecha por un proceso de descarte, que en los primeros tramos de clasificación la materia se ajusta a su tipo de muestra correspondiente. Dentro del material para la clasificación para la subrasante en carreteras la clasificación se empieza por el llamado índice de grupo (IG) la cual es predominante en la clasificación de los grupo y subgrupos de las muestras para subrasante. Este índice está en función de los límites de consistencia. (Badillo & Rodriguez, 2005).

El índice de grupo (IG) está dado por la ecuación:

$$GI = (F - 35) [0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (PI - 10)$$

Donde:

F = Porcentaje que pasa por la malla N° 200

LL = Límite Líquido

P = Índice de Plasticidad

Tabla N°3.- Correlación del Tipos de Suelos para Clasificación AASHTO

Correlación de Tipos de suelos AASHTO – SUCS

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

Fuente: Manual de Suelos Pavimentos Geología y Geotecnia MTC-2014



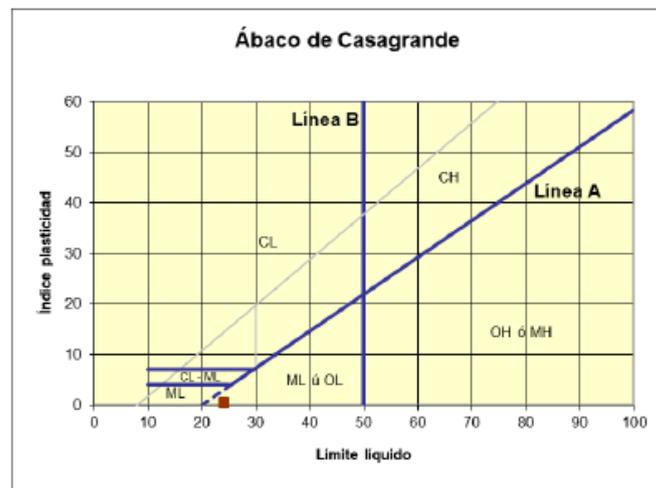
2.2.1.3.2 Sistema de Clasificación SUCS

La clasificación SUCS de suelos llamado Sistema Unificado de Clasificación de Suelos cuyas siglas es “SUCS” quien planteo este sistema de clasificación de suelos es Casagrande en el año 1942 que inicialmente fue para la construcción de aeropuertos. El sistema fu revisado en el año de 1952, el ejército de Estados Unidos en el área de ingeniería fue quienes lo aplicaron por primera vez y es ampliamente utilizado en trabajos de geotecnia.

La clasificación fue presentada por Arthur Casagrande, dividiendo principalmente en dos grupos el primero grupo correspondiente a los suelos gruesos son los que más del 50% del material quedan retenidos en el tamiz o malla N°200 por consiguiente los suelos finos son los que más del 50% de sus partículas son menores al tamiz o malla N° 200.

Los suelos son designados por símbolos de grupo, el mismo que consta de prefijo y sufijo. Los prefijos corresponden a las iniciales de los 6 principales tipos de suelo que son: grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turba, los sufijos corresponden a las subdivisiones en los grupos. (Crespo Villalaz, 2004)

Figura N°4.- Carta de Plasticidad de la SUCS



Fuente: Geólogo Jordi Gonzáles Boada



Tabla N°4.- Sistema Unificado de Clasificación para Suelos (SUCS)

DIVISIONES PRINCIPALES			SÍMBOLOS DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
VBNSU ELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% ->GW,GP,SW,SP. >12% ->GM,GC,SM,SC . 5 al 12% ->casos límite que requieren usar doble símbolo.	Cu=D ₆₀ /D ₁₀ >4 Cc=(D ₃₀) ² /D ₁₀ x D ₆₀ entre 1 y 3	
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.	
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
			GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.	
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Cu=D ₆₀ /D ₁₀ >6 Cc=(D ₃₀) ² /D ₁₀ x D ₆₀ entre 1 y 3	
			SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.	
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.	

Fuente: Manual de Laboratorio de Joseph Bowles



Tabla N°5.- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

DIVISIONES PRINCIPALES		SÍMBOLOS DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS
SUELOS DE GRANO FINO Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad.
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
		OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.
	Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.
		CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.
Suelos muy orgánicos		PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.

Fuente: Manual de Laboratorio de Joseph Bowles

2.2.1.3.3 Pavimento

La estructura de pavimento está confirmada a base de capas como son subrasante, sub base, base y carpeta de rodadura bajo ellas las propiedades de resistentes del suelo se ven para cumplir sus solicitudes para la estructura de funcionalidad dentro de la transpirabilidad de los vehículos, los pavimentos deben de cumplir una adecuada fricción superficial un adecuado diseño geométrico para cumplir una adecuada seguridad a la transpirabilidad y a la apariencia estructural de la base, sub base y subrasante considerando las cargas del tránsito vehicular y las condiciones medioambientales. (Ravines, 2010)

Figura N°5.- Estructura de Pavimento mostrando la subrasante.



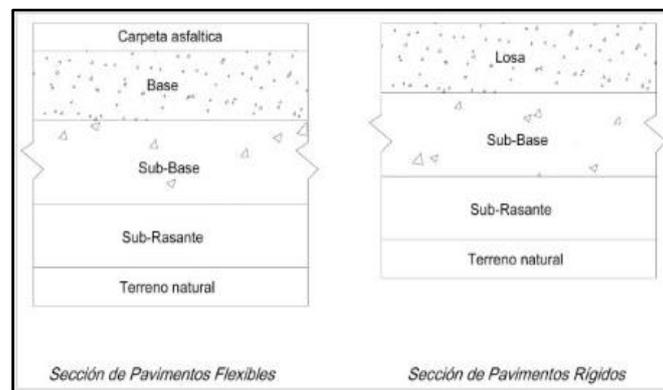
Fuente: <http://polilift.com/2018/05/24/se-originan-fallas-en-pavimento/>



Una estructura de pavimento debe cumplir las funciones básicas que son las siguientes características:

- Ser resistente a las acciones de cargas generadas por el tránsito vehicular
- Ser resistente al intemperismo
- Presentar condiciones adecuadas de drenaje
- Ser regular superficial, transversal y longitudinalmente permitiendo una adecuada comodidad y confort a los usuarios.
- Presentar una plataforma textural superficial adecuada a las velocidades de diseño, la cual es predominante en la seguridad vial. Además, debe presentar resistencia al desgaste producido por el efecto de las llantas de cada vehículo.
- Debe tener un adecuado tiempo de vida y debe ser económicamente viable.

Figura N°6.- Estructura de Pavimento Rígido y Flexible



Fuente: <http://www.pasionporvolar.com/pavimentacion-de-las-pistas-aereas/>

2.2.1.3.4 Definición de Subrasante

La Subrasante de las carreteras es la base terminada a nivel del terreno natural después del movimiento de tierras en donde se tiene cortes y rellenos, en donde se coloca la estructura de la carpeta asfáltica o pavimento. La subrasante es el cimiento de cualquier estructura para el tránsito vehicular y forma parte principal de la carretera, la subrasante se construye sobre el terreno natural escarbadado o explanado y las capas estructurales del pavimento.



La capa superior del terraplén es donde se inicia la subrasante es el lugar que soportará a la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas. Para su colocación de una capa flexible o rígida llamada carpeta de rodadura, de tal manera que no sea mañana por la carga que proviene del tránsito vehicular, su capacidad de soporte en condiciones de servicio vehicular y peatonal, al igual que los materiales que lo constituyen a la estructura de la carpeta de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño de la estructura del pavimento ya sea rígido y flexible que se colocará encima de la subrasante. La altura mínima de la subrasante es de 0.30m, esta debe ser compactada al 95% de su máxima densidad seca DMS obtenida del ensayo Proctor modificado (MTC EM 115).

Los suelos por debajo de los 0.30m de la subrasante, en una profundidad no menor de 0.60 m, deberán ser suelos adecuados y estables con $CBR \geq 6\%$. En caso el suelo, debajo del nivel superior de la subrasante, tenga un $CBR < 6\%$ (subrasante pobre o subrasante inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual el Ingeniero Responsable analizará según la naturaleza del suelo alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geo sintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más favorable técnica de construcción y su economía en la construcción (Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2014).

2.2.1.3.5 Caracterización de la Subrasante

Para el estudio de los materiales en sus características físico-mecánicas para la subrasante se llevarán a cabo las investigaciones realizando calicatas de 1.5 m de profundidad mínima y el número mínimo de calicatas por kilómetro, estará de acuerdo a la tabla N° 7.



Tabla N°6.- Numero de Calicatas por exploración de Suelos

Número de Calicatas para Exploración de Suelos

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido 	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido 	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> 4 calicatas x km 	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> 3 calicatas x km 	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> 2 calicatas x km 	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> 1 calicata x km 	

Fuente: Manual de Suelos Pavimentos Geología y Geotecnia MTC 2014

2.2.1.3.6 Sub Base y Base

Son capas de material especificado y seleccionado, tratado y con un espesor de acorde al diseño, las que soportan la carpeta de rodadura, estas capas son las que distribuyen las cargas de la transpirabilidad vehicular. Soportan esfuerzos de deformación y los transmiten a la parte de la subrasante. La calidad y características de los materiales que conforman estas capas son analizados de acuerdo al diseño vehicular, un poco más en la Base que en la sub Base. La parte de la sub base se utiliza como capa de drenaje (esta capa puede obviarse). La sub base impide la penetración de materiales que dañen a la subrasante, actúa como filtro impidiendo que los finos de la subrasante contaminen a los materiales de la base (Coronado Itubirde, 2002).

2.2.1.3.7 Capa de Rodadura

Es la parte superior de la estructura de la carretera estas pueden ser de dos tipos, pavimento flexible o del tipo bituminoso, pavimento rígido que puede ser de concreto de cemento Portland o de adoquines piedra tratada, cuya finalidad es soportar directamente el tránsito y brindar una superficie uniforme y estable al tránsito vehicular y peatonal. Esta estructura debe resistir los efectos abrasivos provenientes del intenso tránsito vehicular y de las condiciones ambientales (Coronado Itubirde, 2002).



2.2.1.3.8 Exploración de Suelos y Rocas

En la exploración de suelos y rocas se efectuarse un reconocimiento del terreno y como resultado de ello un cronograma de exploración e investigación de campo a lo largo de la carretera CU-123, de esta manera identificar los diferentes tipos de suelo que puedan presentarse. El reconocimiento del terreno permitirá identificar las características naturales y/o artificiales que se encuentran en la carretera CU-123, definir los estratos de suelos superficiales, delimitar las zonas en las cuales los suelos presentan características similares.

De las calicatas de exploración deberán obtenerse de cada estrato muestras representativas en número y cantidades suficientes de suelo, de cada material que sea importante para la presente investigación. La muestra requerida depende de los ensayos a realizar y del porcentaje de partículas gruesas y/o finas que se encuentren en las muestras.

Con las muestras obtenidas en la forma descrita, se efectuarán ensayos en laboratorio para su clasificación y finalmente con los datos obtenidos se pasará a la fase de gabinete y procesar los datos, para consignar en forma gráfica y tabular los resultados obtenidos, asimismo se determinará un perfil estratigráfico de los suelos, debidamente acotado en un espesor no menor a 1.50 m, teniendo como nivel superior la línea de subrasante del diseño geométrico de la vía existente natural, con indicación de sus propiedades o características. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2014).

Tabla N°7.- Clasificación de Suelos Según Índice de Grupo.

Clasificación de suelos según Índice de Grupo

Índice de Grupo	Suelo de Sub rasante
IG > 9	Inadecuado
IG está entre 4 a 9	Insuficiente
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 – 2	Bueno
IG está entre 0 – 1	Muy Bueno

Fuente: Manual de Suelos Pavimentos Geología y Geotecnia MTC 2014



2.2.1.3.9 Ensayo Realizados Sobre el Material de Base Granular

Se describen aquellas pruebas que nos permiten conocer propiedades y características mecánicas de los suelos según las normativas ASTM y AASHTO y el Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

“Para la clasificación apropiadamente un suelo utilizando este sistema, deben conocerse el porcentaje de grava luego de la granulometría, el porcentaje de arena, el porcentaje de limo y arcilla, los coeficientes de uniformidad y curvatura y el límite líquido e índice de plasticidad. Los primeros cinco datos se obtienen a partir de un análisis granulométrico” (Das, 1985)

En esta investigación se realiza la clasificación de los suelos mediante el modelo de clasificación SUCS y AASHTO que se basa en la trabajabilidad que tiene el suelo desde el punto de vista vial, clasificándolos en 8 grupos denominados A1 - A7 a medida que la numeración aumenta la dificultad para trabajarlo (extracción, movimientos, compactación, etc.) y menor calidad en la capa de estructura vial ejecutada.

❖ **Granulometría**

Esta prueba se remite a determinar al tamaño o diámetro máximos de las partículas que conforman el suelo, existen diversas formas y métodos de realizarlo, Para las partículas Gruesas, el procedimiento utilizado es el Método Mecánico o Granulometría por Tamizado esta puede ser manual o mecánica. Pero para las partículas finas, por dificultarse más el tamizado se utiliza el Método del Sifonado o el Método del Hidrómetro, basados en la Ley de Stokes (Blanco & Matuz, 2006).

El estudio de los suelos para las propiedades físico mecánicas, se realizarán para las propiedades físicas a través de su distribución de las partículas del suelo y para las propiedades mecánicas a través de su distribución en los moldes o probetas de ensayo. Estas serán tomadas de una muestra representativa dentro de la muestra a realiza para cada ensayo.



Figura N°7.- Tamices para prueba granulométrica



Fuente: <https://twitter.com/lagesgeo/status/693583300405915649>

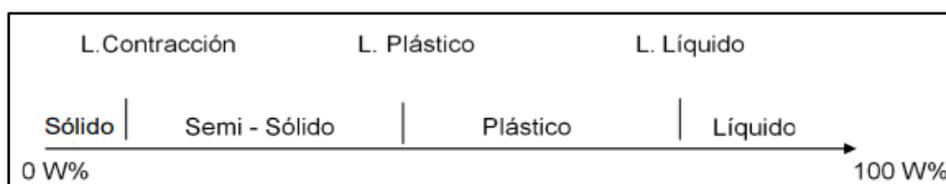
❖ Límites de Consistencia

Los límites de Atterberg o llamados también límites de consistencia, este ensayo se utiliza para la caracterización del comportamiento de los suelos finos. Este tipo de material se puede encontrar en diferentes estratos en las cuales se diferenciarán en el contenido de agua en sus partículas y estas pueden ser esta sólido, semisólido, plástico, semiplástico y líquido.

La cantidad de agua con contiene una muestra hacen que varían de un suelo a otro y en el estudio de la mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades en las muestras, en la cual el suelo presenta un comportamiento plástico es decir acepta deformaciones sin romperse. (Crespo Villalaz, 2004).

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por Atterberg a principios de siglo pasado a través de dos ensayos que definen los límites del estado plástico.

Figura N°8.- Límites de Atterberg



Fuente: Crespo Villalaz, C. (2004). Mecánica de suelos y cimentaciones (4ta ed.).



- **Limite Líquido (L.L.)**

En el ensayo de límite líquido se estudia el contenido de humedad, cuya unidad de medida es el porcentaje, para el cual el suelo se encuentre entre los estados líquido y plástico. Que también es llamado como contenido de humedad en la cual la ranura de separación de dos mitades de una pasta de suelo colocado en la cuchara de Casagrande, se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm o pulgada y media cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones(MTC), 2016).

Figura N°9.- Instrumento, Cuchara de Casa Grande



Fuente: <http://www.procemat.com/productos/producto/17>

- **Limite Plástico**

El límite plástico está definido como el contenido de humedad cuya unidad de medida es el porcentaje, cuando comienza agrietarse o partirse un cilindro formado con el suelo de 3 mm de diámetro aproximadamente al rodarlo con los dedos de la mano sobre una superficie lisa y absorbente (Crespo Villalaz, 2004).

Figura N°10.- Rollo Formado con el Suelo de 3mm de Diámetro



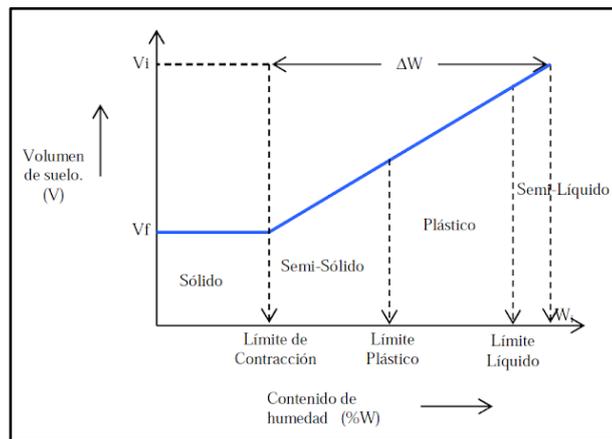
Fuente: http://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de_25.html



- **Límite de Contracción (L.C.)**

Se define como el porcentaje de humedad que tiene el suelo con respecto al peso seco de la muestra, con el cual una reducción de agua no ocasiona ya disminución en el volumen del suelo. El límite de contracción es muy útil para evaluar el comportamiento de cortes y terraplenes en la construcción de carreteras y principalmente en el posible surgimiento de grietas (Crespo Villalaz, 2004).

Figura N°11.- Límites de los Suelo



Fuente: <https://www.libreriaingeniero.com/2017/09/limites-de-consistencia.html>

- **Índice de Plasticidad (I.P.)**

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido del suelo y su límite plástico del suelo.

$$I.P.=L.L.-L.P.$$

Donde:

L.L. = Límite Líquido

P.L. = Límite Plástico

L.L. y L.P., son números enteros

Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).



Así mismo, cuando el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico). (Ministerio de Transportes y Comunicaciones(MTC), 2016).

Tabla N°8.- Clasificación de suelos según su Índice de Plasticidad.

Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual de Suelos Pavimentos Geología y Geotecnia MTC 2014

❖ **Peso Específico**

El peso específico se define como Gravedad Específica de los Suelos, a la relación de la densidad de un suelo y la densidad del agua. El valor de la gravedad específica de un suelo queda expresado por un valor abstracto cuyas unidades son g/cm³.

La gravedad específica es una propiedad de los materiales muy importante. Se utiliza para el cálculo de volúmenes de vacíos, se utiliza también en el análisis del hidrómetro y es útil para predecir el peso unitario del suelo, especialmente para agregados finos; es importante indicar que la gravedad específica no es un indicador de calidad (Berry & David, 1993).

Se calcula a través de la siguiente expresión:

$$G.S = \frac{Y_s}{Y_w}$$



Figura N°12.- Equipos para determinar el Peso Específico del Suelo



Fuente: <https://bloque10.unimagdalena.edu.co/ensayo-de-gravedad-especifica-de-los-suelos/>

❖ Proctor Modificado

El proceso de compactación se utiliza para la densificación o compactar un material mediante procesos mecánicos. El aumento de su densidad del suelo al ser compactado se a causa de la disminución de poros de aire entre las partículas del suelo y los espacios vacíos se llenas con partículas densificadas. (Berrios & Chavarría, 2011).

Para el ensayo de Proctor Modificado que se realiza en laboratorio es para determinar la relación entre el contenido de agua cantidad máxima de agua que puede absorber las partículas del suelo y su peso unitario seco. De las muestras compactadas a realizar son en moldes de 4 o 6 pulg. de diámetro con un pistón de 44,5 N de peso, que cae de una altura de 457 mm, produciendo una Energía de Compactación sobre la nuestra de 2700 kNf/m³.

En el ensayo de Proctor modificado se presentan tres métodos o alternativos A, B y C. El método o ensayo a ser usado debe indicase en las especificaciones de recojo de datos de los ensayos a realizarse. Si el método no está definido la elección se basará de acuerdo a la granulometría o tamizado del material. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones(MTC), 2016)



Figura N°13.- Molde para Proctor Modificado



Fuente: <https://www.pinzuar.com.es/productos/suelos/molde-prueba-compactacion-proctor-modificado/>

Figura N°14.- Martillo de Compactación o Pistón de golpe



Fuente: <http://www.riceliequipos.pe/ver.php>

Tabla N°9.- Métodos Usados para el Ensayo Proctor Modificado.

	Método A	Método B	Método C
Molde	101.6 mm de diámetro (4pulgadas)	101.6 mm de diámetro (4pulgadas)	152.4 mm de diámetro (6 pulgadas)
material	Se emplea el que pasa por el tamiz N°4 (4,75mm)	Se emplea el que pasa por el tamiz 3/8" (9,5mm)	Se emplea el que pasa por el tamiz 3/4" (19 mm.)
Numero de Capas	5	5	5
Golpes por Capas	25	25	25
Uso	Cuando el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz N°4 (4,75mm)	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N°4 (4,75mm) y 20% o menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8" (9,5mm)	Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 3/8" (9,5mm) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 3/4" (19 mm.).
Otros Usos	Si el método no es especificado; los materiales que cumplen estos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando el método B o C.	Si el método no es especificado y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando el método C.	Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no drenan libremente. Si el método de ensayo se utiliza para suelos que drenan libremente, no se definirá bien el Peso Unitario Seco máximo y puede ser menor que la obtenida usando el Método de Prueba ASTM D 4253 (NTP 339.137).



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

❖ Contenido de Humedad

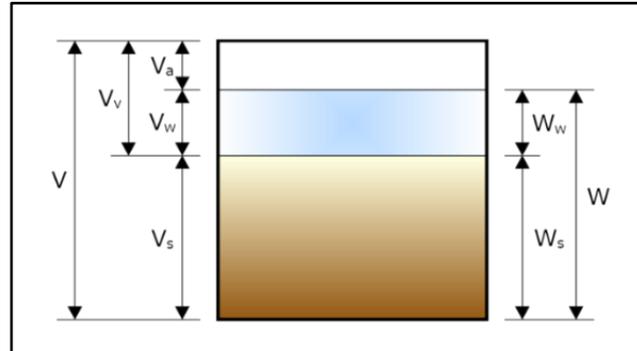
En el ensayo de contenido de humedad de la muestra se define como la cantidad de agua que se encuentra en las partículas del suelo al momento de realizar el ensayo, comparando con el peso de su muestra seca. (Das, 1985).

Los datos de humedad se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$\%W = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Todos los suelos están conformados por tres fases o componentes, la parte sólida, la parte líquida y parte gaseosa. El componente sólido está constituido por partículas llamado minerales, la parte líquida está constituida principalmente por agua, y la parte gaseosa por aire entre las partículas del suelo. (Badillo & Rodriguez, 2005).

Figura N°15.- Fases de los Suelos



Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Soilcomposition.png>

El objetivo principal de este ensaye es conocer la cantidad de agua presente en el suelo natural, esta se encuentra expresada en porcentaje y se utiliza posteriormente para determinar otras relaciones volumétricas. Estas pueden ser: peso específico, relación de vacíos grados de saturación y el peso volumétrico (Berry & David, 1993).

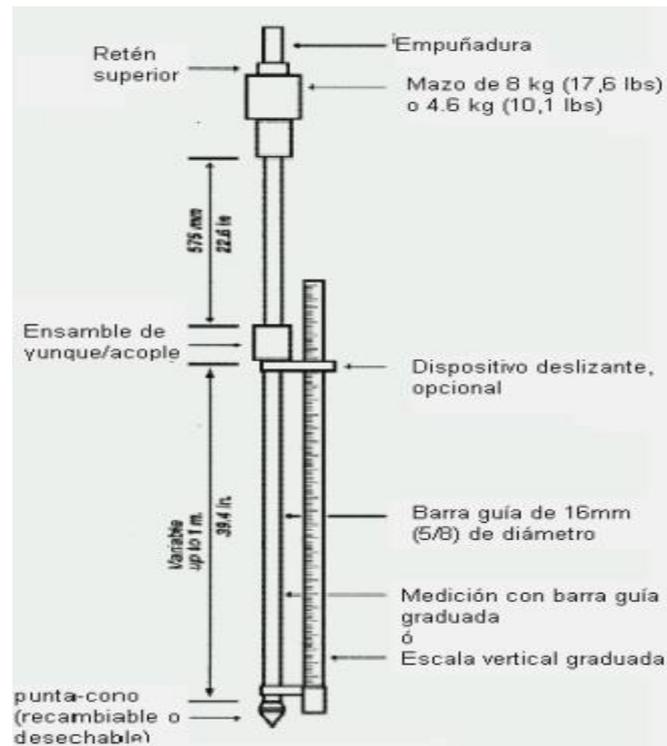


❖ **California Bearing Ratio (CBR)**

La capacidad de soporte consiste en medir la resistencia a la que es sometida los ensayos entre ellas el punzonamiento de un suelo, dichas probetas son construidas o fabricadas de acuerdo al ensayo de Proctor modificado en la cual nos determina la cantidad de agua que se deberá usar en el ensayo de CBR, para ser comparadas con los valores obtenidos con referencia patrón de 0.1 pulgadas y 0.2 pulgadas. Se mide así la capacidad portante o la capacidad de soporte del suelo, sometido a una carga que se simula a través del hinchamiento y expansión de las probetas de CBR. Se expresa por el índice portante CBR en porcentajes % del valor de referencia. Cuanto más elevado es el CBR más capacidad portante tiene el suelo y viceversa el suelo será más blando a menos valor del CBR. (Blanco & Matuz, 2006).

El ensayo se realiza normalmente sobre suelo especificados en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad valores obtenidos del Proctor modificado; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno llamadas también CBR in situ. Esta prueba es el Cono de Penetración Dinámica (PDC), esta prueba es utilizada para evaluar la resistencia in situ de los suelos no alterados o materiales compactados y estimar el valor del CBR en campo, el DCP evalúa la resistencia del suelo en milímetros por golpe, es una buena aproximación de la capacidad estructural de las diferentes capas que conforman la carretera. El valor del CBR mediante la prueba de Cono de Penetración Dinámica (PDC) será inicio de comparación del CBR en laboratorio del suelo natural y de los ciclos de congelamiento.

Figura N°16.- Esquema del PDC.



Fuente: (QUISPE ARONÉS, 2012)

El ensayo de CBR se usa para evaluar y analizar la resistencia que tuviera de la subrasante, subbase y material de base. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones(MTC), 2016).

En esta investigación se requiere el valor de CBR (%) para poder clasificar la subrasante en estudio de acuerdo a los resultados de dicho ensayo por medio de la siguiente tabla:

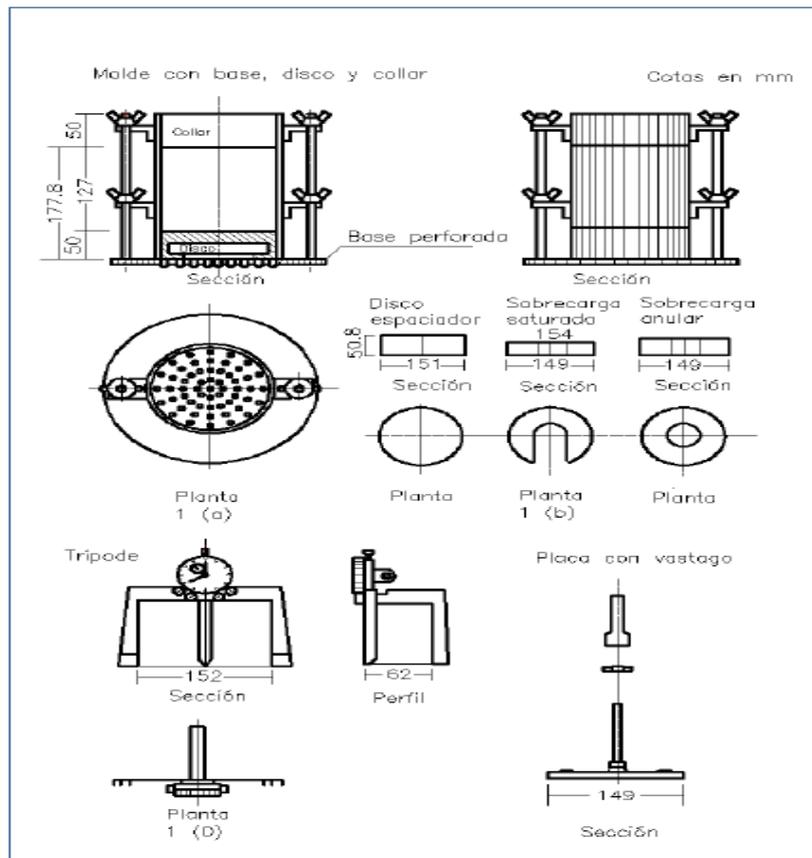
Tabla N°10.- Porcentaje de CBR para Calificar la Subrasante

Categorías de Subrasante

Categorías de Subrasante	CBR
S ₀ : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Manual de Suelos Pavimentos Geología y Geotecnia MTC 2014

Figura N°17.- Equipos Necesarios para CBR.



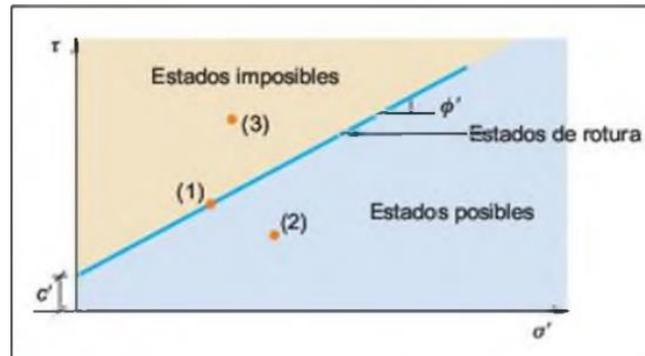
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

❖ Cohesión

Son las fuerzas esenciales y responsables de la retención y circulación del agua en las partículas de suelo, se define a la fuerza de cohesión en los suelos a la atracción entre moléculas de agua que están en una muestra de suelo. Mientras la fuerza de adhesión es la atracción de las moléculas con la superficie sólidas o seca. La fuerza de adhesión también se le llama agua absorbida; en cambio las moléculas o partículas unidas por las fuerzas de cohesión sobre superficie de suelo pueden ser fácilmente retiradas o separadas. Las fuerzas de cohesión y adhesión juntas controlan el movimiento de agua en las partículas del suelo. En los suelos arcillosos la fuerza de adhesión y cohesión son evaluadas a través de la propiedad de plasticidad. (Olivos Velásquez, 2015)



Figura N°18.- Esquema de la ubicación de la cohesión.



Fuente: (Gonzáles de Vallejo, 2004)

Figura N°19.- Equipo de compresión simple.



Fuente: (Gonzáles de Vallejo, 2004)

2.2.2 Congelamiento del Suelo

El Congelamiento de los Suelos se produce cuando el agua llega a (0°C o 32°F) un punto de congelamiento, el crecimiento de los cristales de hielo modifica el equilibrio natural del agua en el suelo, en forma dependiente de las condiciones climáticas y geotécnicas, lo cual aumenta el volumen del suelo y el agua lo torna sólida.



2.2.2.1 Definición de Suelo Congelado

El Congelamiento de los Suelos se produce cuando el agua llega a un valor igual a su punto de congelación, el agua se transforma sólida y su volumen aumenta. Tanto el punto de congelación, como el coeficiente de expansión volumétrica del agua dependen de la presión actuante sobre el agua a la presión atmosférica, el punto de congelación corresponde a una temperatura de 0°C , en tanto que bajo una presión de 600 atmosferas el agua se congela a -5°C y a 1100 atmosferas a -10°C . Los coeficientes de expansión volumétrica son 0.09 a 1 atmosfera, 0.102 a 600 atmosfera y 0.112 a 1100 atmosfera. (Badillo Rodrigues, 1973).

Cuando el agua se congela en suelos de gravas o arena limpias existirá un aumento de volumen; sin embargo, esta expansión se aproxima a un 10% del volumen de vacíos, como correspondería al caso normal de agua congelada, ya que el agua puede drenarse durante la congelación. Si en una muestra de arena se encuentran capas gruesas de hielo, podrá decirse que el hielo se formó por congelación in situ del agua previamente existente. Sin embargo, si el agua esta homogéneamente incorporada a la muestra del suelo, como es general, la congelación afecta al conjunto de dicha masa, sin que el agua forme capas o lentes aislados de hielo. (Badillo Rodrigues, 1973).

2.2.2.1.1 Congelamiento en Suelos Limos Saturados o Arenas Limosas

El suelo limoso saturado o arenas limosas en igual condición, el efecto de la congelación depende mucho del cambio de la temperatura. Un enfriamiento rápido provoca la congelación in situ, como en el caso de los suelos arenosos y el suelo gravoso, pero si el descenso de la temperatura es gradual, la mayor parte del agua se agrupa en pequeñas capas de hielo en la misma dirección de la superficie expuesta al enfriamiento. (Badillo Rodrigues, 1973)

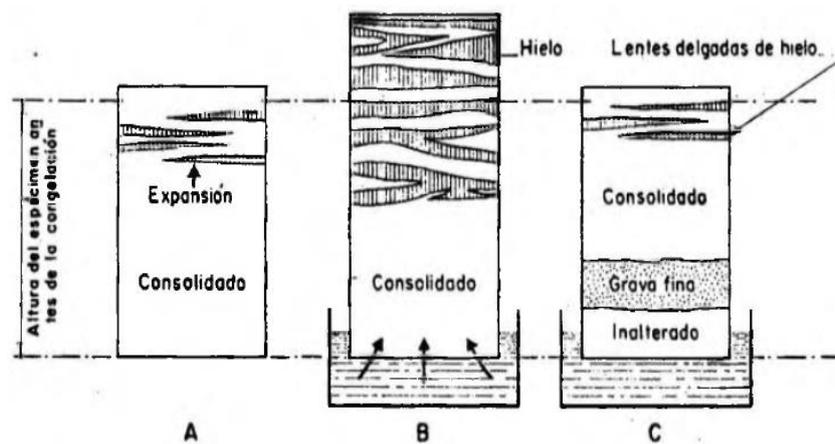
2.2.2.1.2 Condiciones Naturales en Suelos Limosos

En condiciones naturales, los suelos limosos expuestos a fuertes cambios de temperatura, pueden formar capas de hielo de varios centímetros de espesor. La formación de capas de hielo limpio indica una salida del agua de los vacíos hacia el centro de congelamiento; el agua puede proceder del suelo en congelamiento o puede ser absorbida de un manto acuífero, situado bajo la zona de congelación. (Badillo Rodrigues, 1973)

2.2.2.1.3 Sistema Cerrado

En los sistemas cerrados el agua que forma las capas de hielo proviene, de la parte inferior; este flujo ascendente del agua durante el proceso de congelación producen un proceso de consolidación en la parte inferior de la muestra del suelo, análogo al que se tiene cuando el agua asciende por capilaridad hacia una superficie de evaporación el proceso probablemente prosigue hasta que el contenido de agua en la parte inferior se reduce al correspondiente al límite de contracción, siempre y cuando la temperatura en la superficie de enfriamiento sea lo suficientemente baja. El incremento total de volumen asociado a aun sistema cerrado, tiene como límite el incremento volumétrico por congelación del agua contenida en la masa. Por lo general oscila entre el 3% y el 5% del volumen total de la muestra del suelo. (Badillo Rodrigues, 1973).

Figura N°20.- Cosos de Formación de Hielo en Suelos Finos

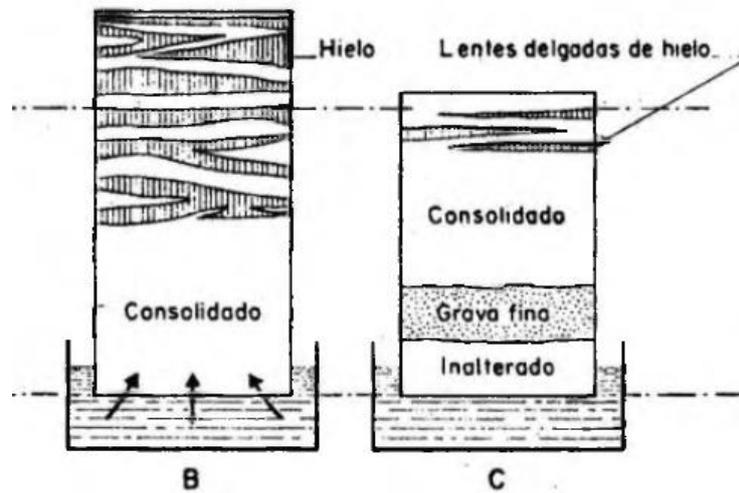


Fuente: (Badillo Rodrigues, 1973)

2.2.2.1.4 Sistema Abierto

En los sistemas abiertos, como se muestra en el gráfico B, el desarrollo inicial de las capas de hielo también es debido al agua procedente de los niveles o capas inferiores de la muestra de suelo, por lo que, en un principio, esa zona se consolida. Sin embargo, según este proceso aumenta la cantidad de agua que se extrae de la superficie libre, hasta que finalmente, la cantidad de agua que toma la muestra por la parte inferior iguala a la que fluye hacia la zona de congelamiento, manteniéndose constante de ahí en adelante, el contenido de agua en la parte inferior de la muestra. (Badillo Rodrigues, 1973).

Figura N°21.- Sistema Abierto de Suelo Congelado



Fuente: (Badillo Rodrigues, 1973)

2.2.2.2 Efectos de la Heladas.

Cuando el agua se congela en los vacíos del suelo bajo una presión constante actúa como una cuña, separando las partículas y aumentando el volumen de los vacíos entre los poros, cuando la congelación ocurre en un suelo no susceptible a la helada, como la grava o la arena, o en un sistema cerrado, el aumento de volumen, según se indicó, tiene como límite un 10% del volumen inicial de los vacíos, por lo que en un suelo de superficie horizontal o sea en terreno natural, la elevación de dicha superficie helada en suelos gravosos y arenosos no podrá ser mayor que:

$$h = 0.1 n H$$

Donde n es la porosidad media del suelo y H es el espesor del suelo en que se deja sentir el efecto de congelación. (Badillo Rodrigues, 1973)

2.2.2.2.1 Clasificación de Suelos de Acuerdo con su Susceptibilidad a la Helada

Según A. Casagrande, un suelo puede considerarse como no apto a la helada si posee menos de un 3% de partículas menores de 0.02mm. El intervalo crítico en el cual el material empieza a mostrarse apto está entre 3% y 10% de contenido de aquellas partículas menores a 0.02 mm, dependiendo de sus características granulométricas. (Badillo Rodrigues, 1973)



Los suelos susceptibles a la situación de las heladas pueden clasificarse como se muestra en la tabla, los suelos aparecen agrupados en orden de aptos al su proceso de congelamiento.

Tabla N°11.- Tipos de Suelos

TABLA 1-1

GRUPO	TIPO DE SUELO
F_1	Gravas con 3% a 20% de partículas menores que 0.02 mm.
F_2	Arenas con 3% a 15% de partículas menores que 0.02 mm.
F_3-a	Gravas con más del 20% de partículas menores que 0.02 mm.
F_3-b	Arenas (excepto las finas limosas), con más del 15% de partículas menores de 0.02 mm.
F_3-c	Arcillas (excepto finamente estratificadas) con $I_p > 12$
F_4-a	Todos los limos inorgánicos, incluyendo los arenosos
F_4-b	
F_4-c	Arcillas con $I_p < 12$
F_4-d	Arcillas finamente estratificadas

Fuente: (Badillo Rodrigues, 1973)

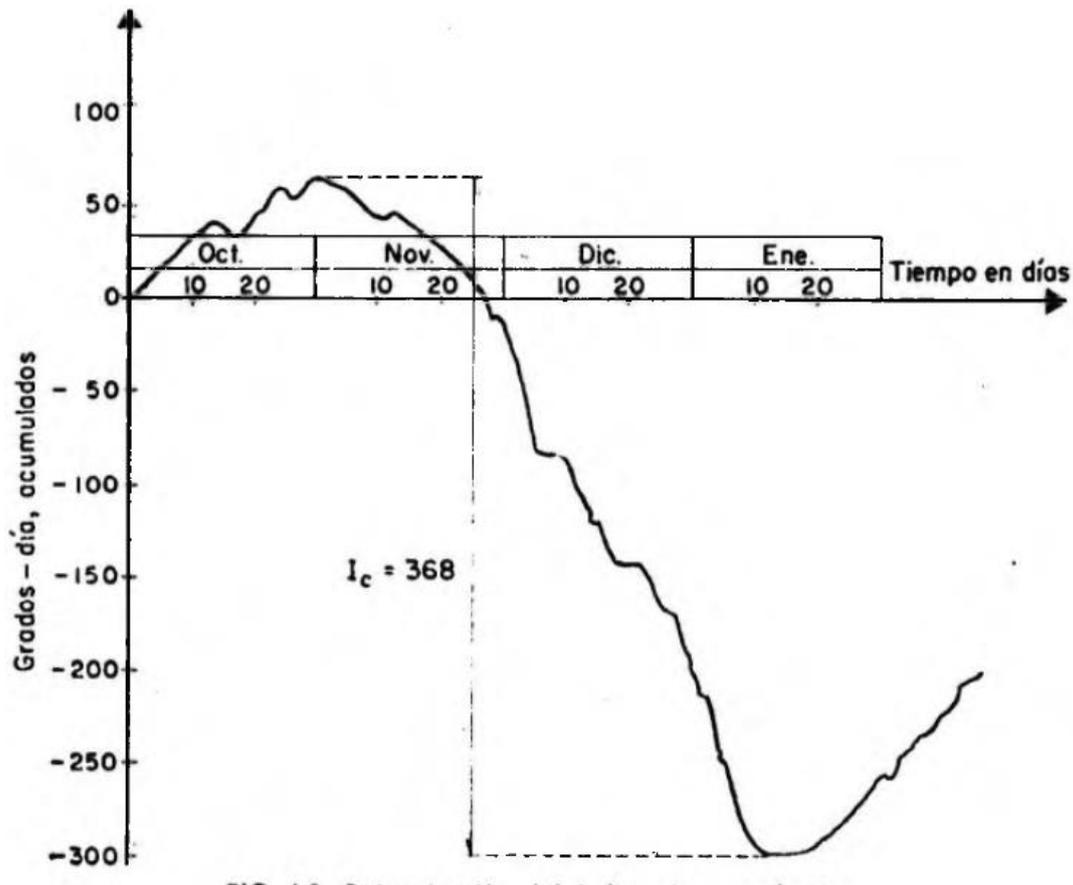
Los suelos más peligrosos desde el punto de vista de la fuerza de la congelación son aquellos en que se combine la granulometría más fina, con la mayor permeabilidad a la acción del agua.

2.2.2.2.2 Índice de Congelación

Se entenderá por el número de grados de temperatura en un día ($^{\circ}\text{C}$ -día), también conocido como la diferencia entre la temperatura media diaria y la temperatura de congelación del agua. Expresando la temperatura en grados centígrados, la temperatura de congelación del agua es 0°C y el número de grados-días coincide con la temperatura media diaria. Si se dibuja para un invierno una gráfica acumulativa de grados-día con relación al tiempo, expresado en días, se obtiene una curva similar al gráfico. (Badillo Rodrigues, 1973)



Figura N°22.- Índice de Congelamiento



Fuente: (Badillo Rodrigues, 1973)

2.2.2.2.3 Determinación del Índice de Congelamiento y la Temperatura de Congelamiento

Se determinará el valor del Índice de Congelamiento de acuerdo a los datos de obtenidos de la estación de Kayra perteneciente a SENAMHI ubicada en el distrito de Kayra.

De los datos obtenidos y haber realizado y ubicado la temperatura mínima promedios de los meses más fríos que se consideran. Mayo, junio, julio y agosto de los años 2022, 2021, 2020, 2019, 2018 y 2017, que el 3 de agosto del año 2020 la temperatura promedio diario llego a -7.5°C de estos datos en el presente trabajo de investigación se considera las temperaturas de 0°C que a partir de esta temperatura se congela el agua y de -5°C por encontrar dentro de los cuatro años la temperatura promedio diaria y considerar de -10°C por la altitud del abra de Occoruro de esta a 4200 m.s.n.m. ya que las demás temperaturas mínimas promedio se tomó en la estación de Kayra que está a una altitud de 3214 m.s.n.m. y la temperatura se incrementa por la presión atmosférica y las condiciones climatológicas de cada zona



Tabla N°12.- Temperaturas Mínimas mayo, junio, Julio, agosto del año 2020 y 2019 según SENAMHI Estación Metereológica de Kayra.

Meses de Frijaje 2020 Temperatura Mínimas °C				
Días	Mayo	Junio	Julio	Agosto
1	S/D	S/D	-5.2	-5
2	S/D	S/D	-2.5	-1.6
3	S/D	S/D	3	-7.5
4	S/D	S/D	-2	-7
5	S/D	S/D	-0.5	-4.5
6	S/D	S/D	1.5	-4
7	S/D	S/D	-0.5	-5
8	S/D	S/D	-2	-2
9	S/D	S/D	-1.4	-2.5
10	S/D	S/D	1.1	-1.5
11	S/D	S/D	-0.9	-0.5
12	S/D	S/D	0	7.8
13	S/D	S/D	0.3	0.2
14	S/D	S/D	6.2	0.5
15	S/D	S/D	1.5	0.4
16	S/D	2.5	1	2.5
17	S/D	0.5	-0.4	0.8
18	S/D	0.9	-0.5	0.5
19	S/D	-0.5	-1	2.6
20	S/D	2.4	-1.6	1.6
21	S/D	-1	-4	5
22	S/D	0.1	-2	8.9
23	S/D	3.4	-0.3	8.6
24	S/D	-0.5	-0.5	0.9
25	S/D	-1.2	2.8	0.5
26	S/D	-2.3	1	1.5
27	S/D	-1	-1	0.6
28	S/D	-0.5	-2.5	1.5
29	S/D	-2.5	0	1
30	S/D	-3.5	1.2	2.4
31	S/D	0	-0.8	1.8

Temperatura Mínima °C **-7.5**

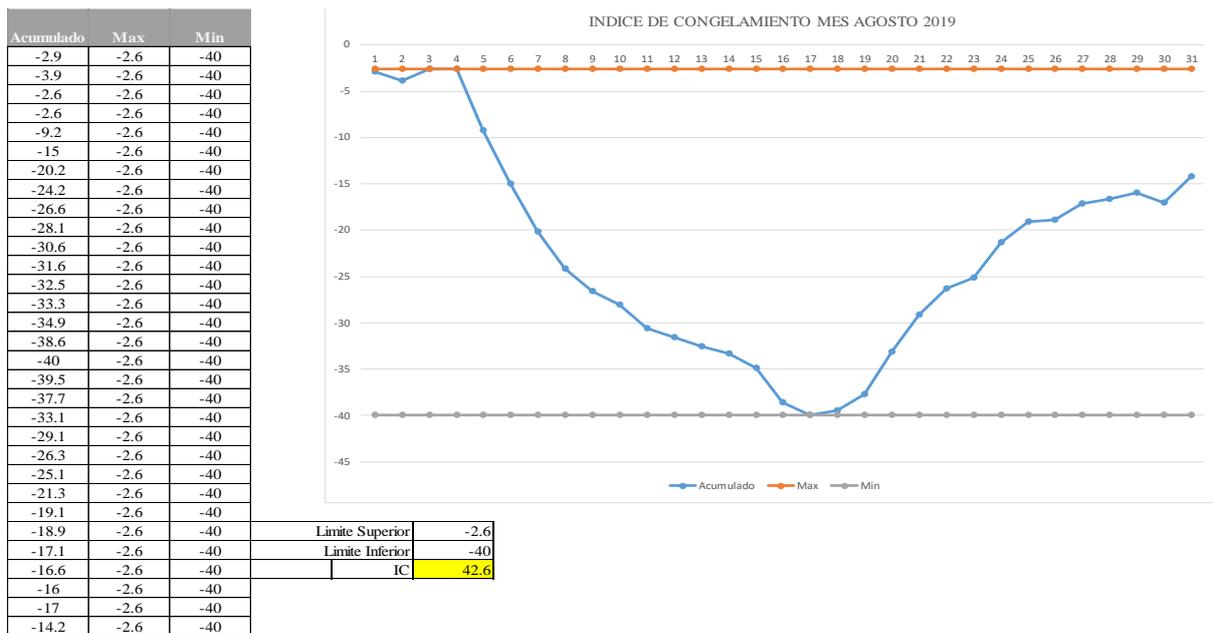
Meses de Frijaje 2019 Temperatura Mínimas °C				
Días	Mayo	Junio	Julio	Agosto
1	3.8	0	-0.5	-2.9
2	2.3	0.5	-1.2	-1
3	5.6	1	-1.5	1.3
4	3.5	1.6	-1	0
5	7.8	-0.6	3	-6.6
6	7.2	-3.2	4.2	-5.8
7	2	-5	0	-5.2
8	2.3	-4	-0.2	-4
9	4.4	0.3	-1.8	-2.4
10	1	0	-4.2	-1.5
11	4.4	0.1	-5.5	-2.5
12	5	0.5	-3	-1
13	6.5	1.5	-3.4	-0.9
14	6.2	1	-0.8	-0.8
15	4.5	0	-0.5	-1.6
16	6.2	4.8	3.5	-3.7
17	-0.2	2.5	6.2	-1.4
18	0	4	2.3	0.5
19	-1	0.9	-0.2	1.8
20	-1.5	2	-2.2	4.6
21	-1.2	-2.8	-1.5	4
22	-0.8	-3	-2	2.8
23	1.6	-5	2	1.2
24	6.2	-4	2	3.8
25	1.2	-2.8	-1.5	2.2
26	1.7	-2.5	-3.5	0.2
27	0	-2.8	-2	1.8
28	0.5	0.6	-0.5	0.5
29	0.3	0.5	-0.8	0.6
30	0	2	0	-1
31	0		-3.8	2.8

Temperatura Mínima °C **-6.6**

Fuente: Elaboración Propia

Se tomó como referencia el año y el mes para la gráfica del índice de congelamiento.

Figura N°23.- Índice de congelamiento mes agosto 2019



Fuente: Elaboración Propia



2.2.2.2.4 Determinación de la Temperatura de Congelamiento

Punto de Congelación, temperatura constante a la que un líquido o gas cambia del estado líquido al estado sólido.

Punto de Hielo: Punto de congelación verdadero la temperatura a la cual una mezcla constituida por agua pura saturada de aire y por hielo puro presenta un estado de equilibrio a la presión de una atmosfera estándar. (Lanza Espino, Caceres Martinez , 2005)

Un criterio muy importante a tenerse en cuenta es que normalmente en los territorios alto-andinos del Perú las temperaturas de los pavimentos en los meses de junio a octubre presentan variaciones diarias en rango cercano a 40 grados centígrados y principalmente fenómenos de “heladas” con fuertes radiaciones solares y vientos fríos. La temperatura afecta directamente la deformación de la carpeta asfáltica (CA); y las variaciones de temperaturas produce tensiones en la CA. Las temperaturas bajas tienen influencia en la aparición del agrietamiento por fatiga la que se potencia con el ahuellamiento. Por otra parte, las temperaturas altas tienen influencia en el ahuellamiento de la CA. En los pavimentos rígidos con diferencias fuertes de temperatura se pueden levantar las esquinas debilitándose hasta su rompimiento. Los agrietamientos por baja temperatura y por fatiga incrementan los costos de conservación; y el ahuellamiento causa adicionalmente problemas de seguridad relacionado con el patinaje de los vehículos. En función de las temperaturas regionales distintas debe seleccionarse la aplicación de asfaltos con rangos distintos de penetración, tal como se indica en el cuadro que se presenta a continuación. (MTC Suelos y Geología, 2014).

Tabla N°13.- Temperatura Media Anual

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 ó modificado	60-70 (*)	85-100 120-150 (*)	Asfalto Modificado

(*) Tomar en cuenta lo establecido en Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción, vigente.

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos



2.2.2.2.5 Factores de Congelamiento

Unos de los factores de los que depende el congelamiento son las condiciones climáticas del lugar e hidrológicas, y de las características que posea el suelo en ese lugar determinadas condiciones climáticas e hidrológicas.

Para poder hacer un estudio acerca de las condiciones climáticas e hidrológicas que influyen en el congelamiento de los suelos y en la infraestructura del pavimento es necesario, tener en cuenta las condiciones más dañinas y menos dañinas que se han predecibles en la Región las cuales son:

- Larga duración del congelamiento y deshielo.
- Una lenta penetración de las heladas.
- Congelamientos de corta duración y una penetración rápida.
- Cuando el hielo penetra solamente en las capas de material no heladizo.

En el caso de la hidrología es necesario saber la distancia a la cual se encuentra la capa freática del pavimento y el límite de penetración de las heladas en esa zona determinada y la permeabilidad a la que se encuentra el suelo. Si las condiciones hidrológicas son favorables cuando la capa freática está a más de 1.40 metros de profundidad, como la penetración de las heladas es del orden de 60 cm, la humedad provocada por la napa no alcanzaría a llegar hasta los niveles donde se produce congelamiento. (Guerrero Campos, Oyarzo Cayupel D. , 2004)

Figura N°24.- Alturas de Congelamiento del Suelo

Condiciones Hidrológicas	Favorables			Desfavorable
	$h < n$ y $n > 1.40$ m			$h > n$
	Caso 1	caso 2	caso 3	Caso 4
<p>d = espesor total de la Estructura de pavimento</p> <p>h = profundidad de penetración del hielo</p> <p>n = nivel de la capa Freatica</p>				

Fuente: (Guerrero Campos, Oyarzo Cayupel D. , 2004)



2.2.2.2.6 Equipo de Congelamiento

En la presente investigación se usará una congeladora con las siguientes características para el congelamiento de las muestras de suelo.

Los rangos de temperatura dependen del producto por almacenar, pero el principio anterior de mantener la máxima temperatura posible se debe aplicar. Por ejemplo, el pollo congelado puede almacenarse entre los -22 y -18°C (-8° y 0°F), por lo que el ajuste se hace en -18°C . Cuando se desea proteger el producto congelado en caso de falla del sistema, se tolera un rango menor que permita un mayor tiempo de respuesta por parte de los responsables del mantenimiento de la instalación.

Tabla N°14.- Temperaturas mínimas a la que alcanza el congelador

Temperatura		Aplicación
-18°C	0°F	Baja temperatura (Freezer o congelador). Productos que se almacenan y mantienen congelados por periodos largos.
0°C	32°F	Media temperatura. Carnes frescas sin congelar.
4°C	40°F	Media temperatura (Refrigerador). Lácteos, frutas y productos perecederos, etc. que tienen una rotación corta de refrigeración.
10°C	50°F	Media temperatura. Vegetales. La humedad es importante para que "respiren" o reciban aire exterior, ya que son productos vivos.
15 a 26°C	60 a 78°F	Alta temperatura. Flores y aplicaciones de aire acondicionado.

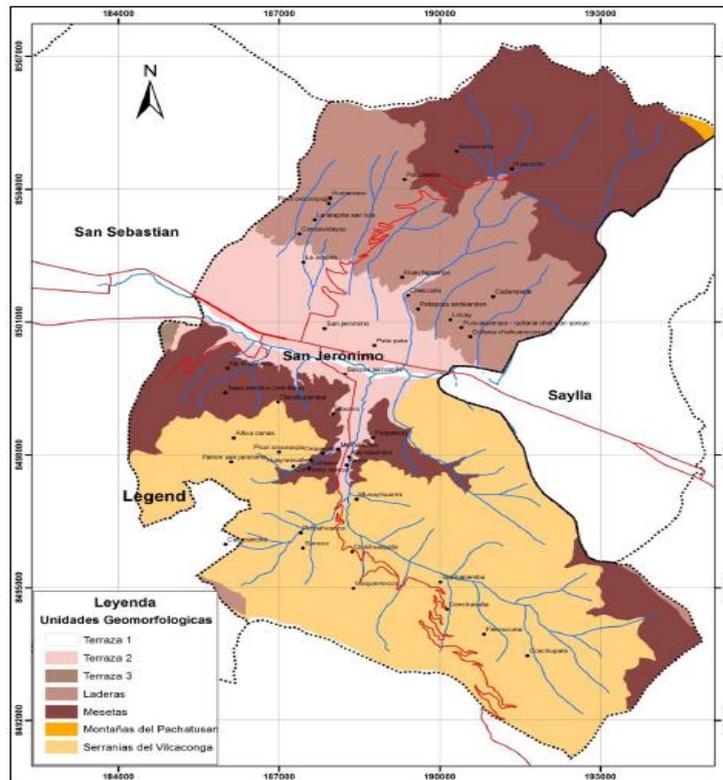
Fuente: (centoamericano, 2015)

2.2.2.3. Características Geológicas y Climáticas en la Zona de Estudio

El distrito de San Jerónimo su territorio se encuentra en un intercordillerano de dirección noroeste - sureste, situado entre las altiplanicies andinas y la Cordillera Oriental, dentro de los Andes. Presenta cuatro grandes grupos de unidades morfológicas: el piso de valle, las laderas, montañas y mesetas.

Serranías de Vilca conga: se caracteriza por ser una zona de relieves prominentes, con elevaciones que alcanzan 4300 msnm y sigue por la margen derecha del distrito con una superficie de 3996.73 has en los sectores de Pillao Matao, Usphabamba, Conchacalla, Cachupata, Sucso Aucaylle, Granja Kayra y Pícol Orcompugio. La pendiente varía entre 25 y 50 %, presentando cerros y lomas cortados por quebradas y pequeños valles. La geología está determinada por la presencia de areniscas del Grupo San Jerónimo, que son las rocas más importantes desde el punto de vista hidrogeológico, ya que constituyen los mejores acuíferos de la región. Estas zonas están relativamente exentas de riesgos por deslizamientos. (Guaman Poma de Ayala, 2018)

Figura N°25.- Mapa Geomorfológico del Distrito de San Jerónimo



Fuente: Plan de Desarrollo Concertado 2017-2024, Municipalidad Distrital de San Jerónimo. Centro Guamán Poma de Ayala

2.2.2.3.1 Formación Geológica Formación Soncco (Peo-so): Eoceno Medio-Oligoceno Inferior

Esta formación aflora en la margen derecha en distrito de San Jerónimo en una superficie de 1483.39 has, en Cachupata, Conchacalla, Usphabamba y Pillao Matao.

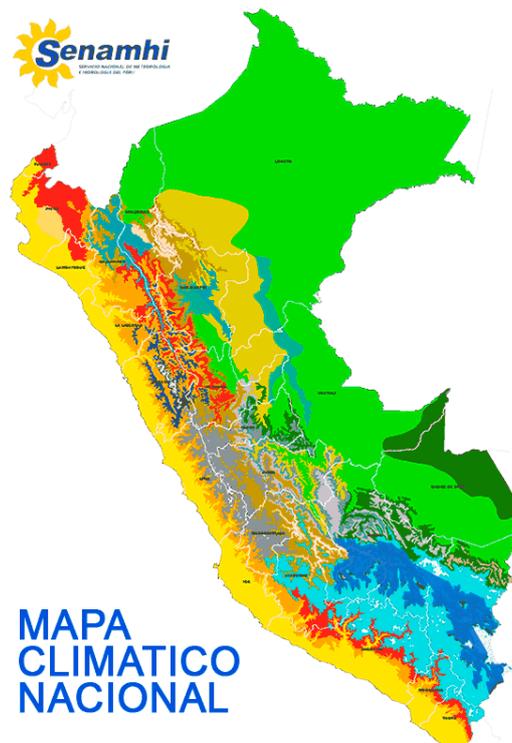
Esta formación se encuentra ubicada en la zona de estudio de la carretera para la presente investigación, está compuesta por lutitas rojas de llanura de inundación, intercaladas con niveles de areniscas finas con mineralización de cobre, la parte superior está compuesta por areniscas con clastos blandos y conglomerados con clastos volcánicos de un sistema fluvial altamente mezclados. (Guaman Poma de Ayala, 2018)



Los parámetros de temperatura observados en los últimos 22 años señalan que la temperatura máxima promedio es de +21.0 °C, entre los meses de octubre y noviembre, y la temperatura mínima promedio es de -0.8 °C, en el mes de Agosto; la temperatura media anual es de +12.0°C. (Guaman Poma de Ayala, 2018)

Clima Frio o Boreal de los Valles Meso andinos, precipitación Semiseco, Temperatura Frio, Humedad Seco. Este tipo climático de la región de la sierra, se extiende entre los 3 mil y 4 mil m.s.n.m. se caracteriza por sus precipitaciones anuales promedios de 700 mm. Y sus temperaturas medias anuales de 12°C presentan veranos lluviosos e inviernos secos con fuertes heladas. (SENAMHI P. , 2022)

Figura N°27.- Mapa Climático Nacional



Fuente: <https://web2.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>

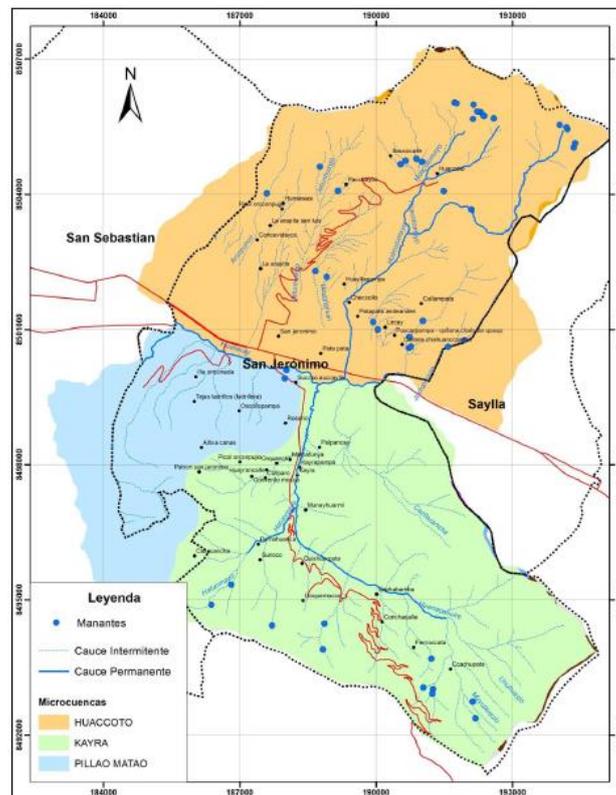
2.2.2.3.4. Hidrografía de la Zona de Estudio

El potencial hídrico en el distrito es importante dado el número y volumen de aguas que discurren a lo largo y ancho de este; así como por su ubicación geográfica y sus características climáticas y ecológicas.

El Distrito de San Jerónimo se encuentra dentro de la cuenca del Río Huatanay que hidrográficamente pertenece a la cuenca del Río Vilcanota.

La cuenca del Huatanay en el sector del Distrito, tiene como afluentes principales a las micro cuencas de Huaccotomayo y Kayra, los mismos que recogen aguas de numerosos manantes provenientes de los acuíferos mixtos del Grupo San Jerónimo y otras estructuras regionales. (Guaman Poma de Ayala, 2018)

Figura N°28.- Mapa Hidrográfico del Distrito de San Jerónimo



Fuente: Plan de Desarrollo Concertado 2017-2024, Municipalidad Distrital de San Jerónimo. Centro Guamán Poma de Ayala

2.3 Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

Las propiedades físico-mecánicas de un suelo arcilloso variaran al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco 2022.



2.3.2. Sub Hipótesis

H1: El índice de plasticidad de un suelo arcilloso aumentara al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.

H2: El peso específico seco de un suelo arcilloso se mantendrá estable al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.

H3: El contenido de humedad óptimo de un suelo arcilloso disminuirá al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.

H4: El índice de soporte de California (CBR) de un suelo arcilloso disminuirá al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.

H5: La cohesión de un suelo arcilloso será menor al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.

2.4 Definición de Variables

2.4.1 Variable Independientes

Viene representada por una X. Es la variable que el investigador mide, manipula o selecciona para determinar su relación con el fenómeno o fenómenos observados. Esta variable es conocida también como, la variable estímulo o input. Es la variable que el investigador regula para ver los cambios que produce en otra variable. En la relación más simple, un investigador estudia qué le sucedería a, la variable efecto cuando cambia los valores de la variable causa o variable independiente. (Buendia Eisman, Colas Bravo, 1998)

Variable independiente es la temperatura que variara en función de las horas y días que se va realizar la prueba de congelamiento y descongelamiento de las muestras de suelo, es aquella variable que el investigador modifica a plenitud para averiguar si sus cambios provocan o no modificaciones en las otras variables.

X: La temperatura de congelamiento (-5°C, -10°C)



2.4.2 Variables Dependientes

Es el factor que el investigador observa o mide para determinar el efecto de la variable independiente o variable causa. La variable dependiente es la respuesta o variable de salida. A esta se le considera así porque sus valores obtenidos van a depender de los valores de la variable independiente. (Buendia Eisman, Colas Bravo, 1998)

Cabe precisar que las variables a explicar los efectos o resultados, respecto a los cuales hay que buscar un motivo o razón para la existencia de la variable. De manera que podemos denominar variable efecto o variable condicional, es aquella que es afectada por la acción de la variable independiente en los resultados que se obtiene.

Y: Propiedades Físico Mecánicas del suelo:

- Índice de plasticidad de un suelo arcilloso congelado
- Peso específico de un suelo arcilloso congelado
- Contenido de humedad de un suelo arcilloso congelado
- El índice de soporte de californio (CBR) de un suelo arcilloso congelado
- Cohesión de un suelo arcilloso congelado



2.4.3 Cuadro de Operacionalización de variables

Tabla N°15.- Cuadro de Operacionalización de variables

Título: “ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA Y ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO-CUSCO-2022”					
Tipo de Variables	Variables	Dimensiones	Definición	Indicador	Instrumento
Variable Dependiente	Propiedades Físicas Mecánicas	V1: Índice de Plasticidad	La plasticidad de los suelos es la propiedad que presentan para poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. A través de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas del año. Las arcillas presentan esta propiedad en forma variable. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg. (Crespo Villalaz, 2004). Magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante el suelo $IP = LL - LP$ - El Muestreo se realizará en forma aleatorio y por conveniencia, la estratigrafía, granulometría y la clasificación de suelos (SUCS – AASHTO) son pasos necesarios para la realización y cumplimiento de las variables.	Límite líquido (%) Límite plástico (%) Contenido de Humedad (%)	Ficha de Recolección Hoja de Cálculo MTC E-110 (LL), MTC E-111 (LP) y MTC E-112 (LC)
		V2: Peso Específico Seco	El Peso Específico de un suelo es la relación entre el peso y su volumen del suelo, es un valor que depende de la humedad del suelo, de los huecos de aire y del peso específico de las partículas sólidas. (Yepes Piqueras, 2015) - El Muestreo se realizará en forma aleatorio y por conveniencia, la estratigrafía, granulometría y la clasificación de suelos (SUCS – AASHTO) son pasos necesarios para la realización y cumplimiento de las variables.	Peso del suelo húmedo (kN) Volumen del molde (m ³) Contenido de humedad (%)	Ficha de Recolección Hoja de Cálculo MTC E-108 NTP-339.127 Ensayo de compactación Proctor Modificado
		V3: Contenido de Humedad Óptima	La humedad del suelo o contenido de humedad es la relación, expresada en porcentajes, del peso de agua en una muestra de suelo. (J. Ch. U., 2006). Es la Humedad que nos permite alcanzar una compactación óptima. - El Muestreo se realizará en forma aleatorio y por conveniencia, la estratigrafía, granulometría y la clasificación de suelos (SUCS – AASHTO) son pasos necesarios para la realización y cumplimiento de las variables.	Contenido de Humedad Óptima (%)	Ficha de Recolección Hoja de Cálculo MTC E-108 NTP-339.14
		V4: Índice de Soporte de California (CBR)	El Ensayo CBR que es la Relación de Soporte de California es un parámetro del suelo que cuantifica su capacidad de resistencia especialmente para subrasante, sub base y base en el diseño de pavimentos sea flexible o rígida. El ensayo se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad. (Araujo Navarro, 2015) - El Muestreo se realizará en forma aleatorio y por conveniencia, la estratigrafía, granulometría y la clasificación de suelos (SUCS – AASHTO) son pasos necesarios para la realización y cumplimiento de las variables	Humedad y densidad	Ficha de Recolección Hoja de Cálculo MTC E-132 NTP-339.145
		V5: Cohesión no drenada	Es la cualidad por la cual las partículas del suelo se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas de atracción, que dependen del número de puntos de contacto de cada partícula. (Cuadros Romero, 2015) - El Muestreo se realizará en forma aleatorio y por conveniencia, la estratigrafía, granulometría y la clasificación de suelos (SUCS – AASHTO) son pasos necesarios para la realización y cumplimiento de las variables.	Carga vertical de compresión (KN) Área de contacto de la probeta (m ²) Deformación unitaria (ε)	Ensayo de compresión no confinada

Fuente: Elaboración Propia



Capítulo III: Metodología

3.1 Metodología de la Investigación

3.1.1 *Enfoque de la Investigación*

Según Pérez: El enfoque cuantitativo dentro de una investigación es también conocido como investigación cuantitativa, empírico o analítico, racionalista o positivista, este enfoque se basa en los números para investigar, analizar y comprobar información a través de datos se produce por la causa y efecto de las cosas, la investigación cuantitativa es un procedimiento de decisión, que trata de analizar y delimitar la asociación, la generalización y el objeto de los resultados que se obtienen al estudiar una población., y analizar toda la información que se obtiene en la investigación. (Perez Presedo, 2017)

La presente investigación tiene un enfoque CUANTITATIVO, el estudio se procederá mediante la observación y el análisis de las variables intervinientes en el proceso de investigación el cual permitirá el estudio de los datos numéricos de naturaleza descriptiva mediante los experimentos a realizar de las propiedades física y mecánicas de un suelo congelado, para analizar el comportamiento de la propiedades físico mecánicas del suelo congelado con un suelo en condiciones normales.

3.1.2 *Nivel o Alcance de la Investigación*

En la presente investigación el investigador dará las descripciones de las situaciones y eventos que se suscitarán durante la investigación. Esto es, se manifiesta determinado fenómeno. Estos estudios descriptivos resaltan la propiedad de los fenómenos a investigar que son sometidos a un análisis riguroso de la investigación. El investigador Miden y evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar. En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas por separado. (Hernández Sampieri, 2014)

La investigación es de nivel descriptivo – EXPLICATIVO, puesto que describiremos y explicaremos de la comparación de sus propiedades física y mecánicas de un suelo congelado con un suelo en condiciones naturales, como son el límite de plasticidad, peso específico, contenido de humedad, CBR, y la cohesión de un suelo arcilloso, de acuerdo a los periodos de congelamiento de 7 días y 15 días expuestas a temperatura ambiente durante el día.



3.1.3 Método de Investigación

El método utilizado en la presente investigación es el método de las hipótesis, son formas de partida para nuevas deducciones o aseveración de la investigación. Es una parte de la hipótesis inferida o deducida de principios y reglas de la deducción de la investigación se llega a predecir y a la verificación empírica que existe en relación con los hechos, se comprueba la veracidad o no de la hipótesis de partida, las conclusiones que se derivan son muy importantes, pues ello demuestra la inconsistencia lógica de la hipótesis de partida y se hace necesario reformularlas. (Rodríguez Jiménez, Pérez Jacinto, 2017)

La presente investigación sigue el MÉTODO HIPOTÉTICO DEDUCTIVO, permitirá que se proponga una hipótesis de la comparación de las propiedades físico mecánicas del suelo como consecuencia de sus interferencias del conjunto de datos empíricos o de principios de leyes más generales. En el primer caso arriba a la hipótesis mediante procedimiento deductivos.

3.2 Diseño de la Investigación

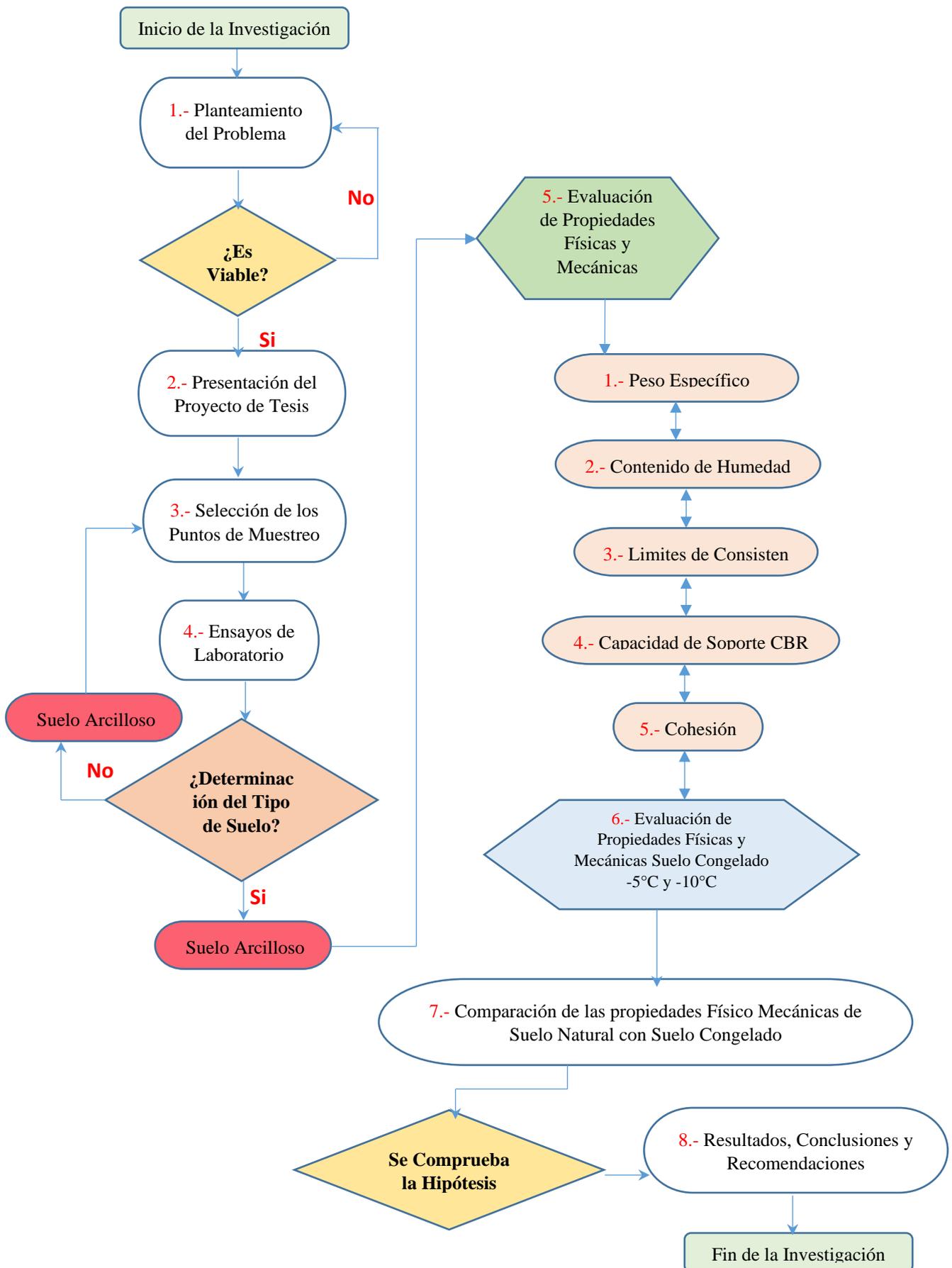
3.2.1 Diseño Metodológico

Los diseños Cuasiexperimentales también son usados deliberadamente las variables, en la investigación una variable independiente es las temperaturas congelamiento del suelo (-5 °C y -10 °C) para observar su variación sobre una o más variables dependientes que serían las Propiedades Físicas y Mecánicas del suelo en condiciones normales.

En los diseños CUASIEXPERIMENTALES dentro de la investigación las muestras con las que se trabajan no se asignan al azar a los grupos ni se emparejan, sino que dichas muestras ya están conformadas antes del experimento son grupos intactos, la razón por la que surgen y la manera como se integraron es independiente o aparte del experimento a ser estudiado. (Hernández Sampieri, 2014)



3.2.2 Diseño de Ingeniería





3.3 Población y Muestra

3.3.1 Población

Universo o Población son expresiones equivalentes para referirse al conjunto total de elementos que constituyen el ámbito de interés analítico y sobre el que queremos inferir las conclusiones de nuestro análisis, conclusiones de naturaleza estadística y también sustantiva o teórica. En particular se habla de población marco o universo finito, al conjunto preciso de unidades del que se extrae la muestra. (López Roldán, Fachelli, 2015)

3.3.1.1 Descripción de la Población

La población en la presente investigación es la carretera afirmada provincia Cusco sector San Jerónimo, Provincia de Acomayo sector Rondocan y la Provincia de Paruro, dichas provincias son pertenecientes al Departamento de Cusco, cuya clasificación es CU-123 de la red departamental de carretera clasificación por el MTC dentro del departamento Cusco.

3.3.1.2 Cuantificación de la Población

Delimitando la población de estudio en la Investigación al tramo de la Comunidad de Conchacalla (3600 m.s.n.m.) y el abra de Occoruro (4200 m.s.n.m.) con una longitud de 3 kilómetros con 850 metros de longitud de la carretera, cuya característica en común es la altitud sobre el nivel del mar.

3.3.2 Muestra

Una muestra estadística es una parte o subconjunto de unidades representativas de un conjunto llamado población o universo, seleccionadas de forma aleatoria, y que se somete a observación científica con el objetivo de obtener resultados válidos para el universo total investigado. (López Roldán, Fachelli, 2015)

3.3.2.1 Descripción de la Muestra

La muestra a ser utilizada en la presente investigación será desde la comunidad de Conchacalla que se encuentra a una altitud de 3600 m.s.n.m. y el abra de Occoruro que está a una altitud de 4200 m.s.n.m. abarcando una longitud promedio de km 1.350, la muestra de



estudio es por metro de suelo y la cantidad de Calicatas es de tres a realizar según el Manual de Suelos Pavimentos Geología y Geotecnia MTC 2014.

3.3.2.2 Cuantificación de la Muestra

La cantidad de muestra a ser utilizada para la investigación será tomada en cuenta de acuerdo al Manual de Suelos Pavimentos Geología y Geotecnia MTC 2014, y a la determinación de la cantidad de muestra conociendo la población Finita (N2850 metros) bajo un criterio de error del 7% para un nivel de confianza del 90%

Tabla N°16.- Valores de Nivel de Confianza y Errores Máximos Estimados

Matriz de Tamaños Muestrales para diversos márgenes de error y niveles de confianza, al estimar una proporción en poblaciones Finitas		
N [tamaño del universo]	18,500	← Escriba aquí el tamaño del universo
p [probabilidad de ocurrencia]	0,5	← Escriba aquí el valor de p
Nivel de Confianza (alfa)	1-alfa/2	z (1-alfa/2)
90%	0,05	1,64
95%	0,025	1,96
97%	0,015	2,17
99%	0,005	2,58

Matriz de Tamaños muestrales para un universo de 18500 con una p de 0,5										
Nivel de Confianza	d [error máximo de estimación]									
	10,0%	9,0%	8,0%	7,0%	6,0%	5,0%	4,0%	3,0%	2,0%	1,0%
90%	67	83	104	136	185	265	411	718	1,541	4,932
95%	96	118	149	194	263	376	581	1,009	2,125	6,322
97%	117	144	182	237	321	459	708	1,222	2,539	7,194
99%	165	203	256	333	451	643	985	1,681	3,396	8,761

Fórmula empleada	
$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}}$	donde: $n_o = p^*(1-p)^* \left(\frac{z (1 - \frac{\alpha}{2})^2}{d} \right)^2$

Fuente: Metodología de la Investigación determinación de la población y muestra (Gallardo Echenique, 2017)

Cuya fórmula para la determinación de la muestra es la siguiente:

$$n = \frac{z^2 \sigma^2 \cdot N}{(N - 1)E^2 + z^2 \sigma^2}$$

Dónde: n = la cantidad de muestra

N = cantidad de población conocida (2.850 km)

E = Error cometido en la Investigación (0.07)

σ = desviación estándar de la población (σ2=0.25)

z = valor critico correspondiente a un coeficiente de confianza

(z=1.645)



$$n = \frac{1.645^2 * 0.25^2 * 2.850}{(2.850 - 1) * 0.07^2 + 1.645^2 * 0.25^2} = 41.17 \quad \text{Muestras}$$

Corrección del tamaño de la muestra cuando el cociente entre la muestra obtenida y la población definida es mayor al error asumido 7% esto es:

$$\frac{n}{N} > E$$

Dónde: N = cantidad de población conocida (9.850 km)

n = la cantidad de muestra ($n = 9.26$)

E = Error cometido en la Investigación (0.07)

$$\frac{81.17}{2850} = 0.02847071203086 > 0.07$$

Por consiguiente, utilizamos la fórmula de corrección del tamaño de la muestra:

$$n_o = \frac{n}{1 + \frac{n-1}{N}}$$

Dónde: n_o = Corrección de tamaño de muestra

N = cantidad de población conocida (9.850 km)

n = la cantidad de muestra ($n = 9.26$)

$$n_o = \frac{81.17}{1 - \frac{81.17 - 1}{9.850}} = 23.519$$

El tamaño muestra es de 03 calicatas para 1 kilómetro de longitud de carretera y de la tabla N°-6 página 38 por cada kilómetro de estudio para carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito es de una calicata, se realizará 3 calicatas para el presente trabajo de investigación.



Tabla N°17.- Cantidad de Ensayos a Realizar

NÚMERO DE ENSAYOS A REALIZAR EN LA INVESTIGACIÓN											
Ensayos	Norma	Suelo Natural			calicata N°1		calicata N°2		calicata N°3		Total de Ensayos
		Calicata N°-01	Calicata N°-02	Calicata N°-03	5°C	10°C	5°C	10°C	5°C	10°C	
1 Muestreo de Suelo	MTC E 101 ASTM D420	1	1	1							3
2 Granulometría	MTC E 107 ASTN D 422	1	1	1							3
3 Límite Líquido	MTC E 110 NTP 339.129		1		-	-	2	2	-	-	5
4 Límite Plástico	MTC E 111 NTP 339.129		1		-	-	2	2	-	-	5
5 Peso Específico	MTC E 113		1		-	-	2	2	-	-	5
6 Contenido de Humedad	MTC E 108		1		-	-	2	2	-	-	5
7 Proctor Modificado	MTC E 116 ASTM D698		1		-	-	2	2	-	-	5
8 Capacidad de Soporte CBR	MTC E 132 ASTM D1883		1		-	-	2	2	-	-	5
9 Cohesión (Compresión Simple)	MTC E 121		1		-	-	2	2	-	-	5
Total de Ensayos Realizados en la Investigación											41

Fuente: Elaboración Propia

3.3.2.3 Método de Muestreo

El Muestreo es indispensable para el investigador ya que es imposible entrevistar a todos los miembros de una población debido a problemas de tiempo, recursos y esfuerzo. Al seleccionar una muestra lo que se hace es estudiar una parte o un subconjunto de la población, pero que la misma sea lo suficientemente representativa de ésta para que luego pueda generalizarse con seguridad de ellas a la población. (Wigodski S., 2010).

En la presente tesis de investigación se utilizará un muestreo Aleatorio Estratificado para que las propiedades físico mecánicas de un suelo arcilloso sean similares en categorías (altitud, cota terrena) por metro de cada kilómetro amparándonos en el Manual de Suelos Pavimentos Geología y Geotecnia MTC 2014, quien nos determina la cantidad de Calicatas por kilómetro.

3.3.2.4 Criterios de Evaluación de Muestra

Muestreo estratificado: una muestra es estratificada cuando los elementos de la muestra son proporcionales a su presencia en la población. La presencia de un elemento en un estrato excluye su presencia en otro. Para este tipo de muestreo, se divide a la población en varios grupos o estratos con el fin de dar representatividad a los distintos factores que integran el



universo de estudio. Para la selección de los elementos o unidades representantes, se utiliza el método de muestreo aleatorio. (Wigodski S., 2010).

3.3.3 Criterios de Inclusión

La muestra para la presente investigación será aún más rigurosa ya que será evaluada la cantidad exacta de longitud de carretera que se encuentra sometida a suelo arcilloso para subrasante pues la tesis a desarrollarse es de un suelo arcilloso para subrasante sometidas a procesos de congelamiento entre la comunidad de Conchacalla y Abra Occoruro, más no así toda la longitud de la carretera y complementando con el Manual de Suelos Pavimentos Geología y Geotecnia MTC 2014, quien nos proporciona la cantidad de calicatas por Kilómetro.



3.4 Instrumentos

3.4.1. Instrumentos Metodológicos y de Recolección de Datos

Tabla N°18.- Modelo de Observación en Laboratorio: Peso Especifico

 Universidad Andina del Cusco	 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinacion del Peso Especifico Mediante Picnómetro de Agua			
Ubicación:				
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo en Condiciones Naturales			
Referencia:	MTC E 113 Determinación del Peso Especifico mediante Picnómetro de Agua			
Fecha de Ensayo:				
<u>Peso Especifico MTC E 113, Basado en la Norma ASTM C-128</u>				
Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Capacidad del Picnómetro	cm ³			
Peso del suelo seco	gr			
Peso del frasco + peso del suelo + peso del agua	gr			
Temperatura del agua	°C			
Peso del Frasco + peso del agua	gr			
Correccion por Teperatura	K			
Peso Especifico Relativo del Suelo	Gs			
Peso Especifico	Gs			
Peso Especifico			g/cm ³	

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°19.- Modelo de Observación en Laboratorio: Análisis Granulométrico

 Universidad Andina del Cusco	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"	
Ensayo:	Análisis Granulométrico del Suelo por Tamizado	
Ubicación:		
Responsable:	Mauro Baca Noa	
Descripción de Muestra:	Suelo en Condiciones Naturales	
Referencia	MTC E 107 Análisis Granulométrico de Suelos por tamizado	
Fecha de Ensayo:		

MTC E 107, Análisis Granulométrico de Suelo por Tamizado

Peso de la Muestra Seca:	gr.			%	Grava	
Peso de Muestra lavada:	gr.			%	Arena	
Perdida por Lavado:	gr.			%	Finos	

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Corregido	% Retenido	Acumulado	
					% Retenido	% Pasa
3"	75.000					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.000					
3/8"	9.500					
N° 4	4.700					
N° 10	2.000					
N° 20	0.840					
N° 40	0.425					
N° 60	0.260					
N° 140	0.106					
N° 200	0.075					
Fondo + suelo Lavado						
fondo						
TOTAL						

Tamaño máximo Absoluto:	<input style="width: 80%;" type="text" value="1"/>		D10 (mm)		
Tamaño máximo Nominal:	<input style="width: 80%;" type="text" value="3/8"/>		D30 (mm)		
			D60 (mm)		#iNUM!

Cu =	
Cc =	

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°20.- Modelo de Observación en Laboratorio: Contenido de Humedad

 				
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinacion del Contenido de Humedad del Suelo Natural			
Ubicación:				
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Natural			
Referencia:	MTC E 108 Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo			
Fecha de Ensayo:				
<u>MTC E 108, Basado en la Norma ASTM D-2216</u>				
Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso de Recipiente	gr			
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	gr			
Peso de Recipiente + Muestra Seca	gr			
Peso del Agua	gr			
Peso de la Muestra Seca	gr			
Contenido de Humedad	%			
Contenido de Humedad Promedio				

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°21.- Modelo de Observación en Laboratorio: Limite Liquido

	<h1>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</h1>				
<p>Universidad Andina del Cusco</p>	<p>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>				
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"				
Ensayo:	Determinación del Limite Liquido del Suelo				
Ubicación:					
Responsable:	Mauro Baca Noa				
Descripción de Muestra:	Suelo en Condición Natural				
Referencia:	MTC E 110 Determinación del Limite Liquido de los Suelos				
Fecha de Ensayo:					
<u>MTC E 110, Determinacion del Limite Liquido (LL) de los Suelos</u>					
Tamiz N°	Unidades	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Peso Suelo Humedo + Recipiente Metalico	gr				
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico	gr				
Peso Recipiente Metalico	gr				
Peso Suelo Seco	gr				
Peso Agua	gr				
Contenido de Humedad (%)	%				
Número de Golpes	N				
Limite Liquido					

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°22.- Modelo de Observación en Laboratorio: Limite Plástico

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
	ACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTUR				
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"				
Ensayo:	Determinacion del Limite Plastico e Indice de Plasticidad del Suelo				
Ubicación:					
Responsable:	Mauro Baca Noa				
Descripción de Muestra:	Suelo Natural				
Referencia:	MTC E 111 Determinación del Limite Plastico				
Fecha de Ensayo:					
<u>MTCE 111, Determinacion del Limite Plastico (L.P.) de los Suelos e Indice de Plasticidad (I.P.)</u>					
Descripción	Unidades	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	
Peso Suelo Humedo + Recipiente Metalico	gr				
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico	gr				
Peso Recipiente Metalico	gr				
Peso Suelo Seco	gr				
Peso Agua	gr				
Contenido de Humedad	%				
Limite Plastico					
Limite Liquido:	%				
Limite Plastico:	%				
Indice de Plasticidad:	%				

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°23.- Modelo de Observación en Laboratorio: Proctor Modificado

 <small>Universidad Andina del Cusco</small>	<h2 style="margin: 0;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</h2> <p style="margin: 0;">FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>	
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"	
Ensayo:	Compactacion de Suelo Usando Próctor Modificado	
Ubicación:		
Responsable:	Mauro Baca Noa	
Descripción de Muestra:	Suelo Natrual	
Referencia:	MTC E 115 Compactacion de Suelos en Laboratorio Utilizando Energía Modificada	
Fecha de Ensayo:		

MTC E 115. Compactacion de Suelo en laboratorio Utilizando una Energía Modificada (Proctor Modificado)

Metodo de Compactacion:	Tipo A	
Diametro del Molde:	cm.	
Altura del Molde:	cm.	
Volumen del Molde:	cm ³	
Peso del Molde:	gr	
N° de Capas:	unid.	
Golpes por capa:	unid.	
Molde:		

DENSIDAD HUMEDA					
Ensayo	Unidades	1	2	3	4
Peso de Muestra Humeda + Molde	gr				
Peso del Molde	gr				
Peso de Muestra Humeda	gr				
Volumen del Molde	cm ³				
Densidad Humeda	gr/cm ³				

CONTENIDO DE HUMEDAD									
Nro. De Resipientes	N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso de Muestra Humeda + Tara	gr								
Peso de Muestra Seca + Tara	gr								
Peso del Agua	gr								
Peso de Tara	gr								
Peso de Muestra Seca	gr								
Contenido de Humedad	%								
Contenido de Humedad Promedio	%								
Densidad Seca	gr/cm ³								

Humedad Optima CHO	%	
Densidad Seca maxima MDS	gr/cm ³	

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°24.- Modelo de Observación en Laboratorio: CBR

 Universidad Andina del Cusco	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"	
Ensayo:	Ensayo de CBR Usando Proctor Modificado	
Ubicación:		
Responsable:	Mauro Baca Noa	
Descripción de Muestra:	Suelo Natural	
Referencia:	MTC E 132 - ASTM 1883 CBR de Suelos	
Fecha de Ensayo:		

MTCE 132, CBR (California Bearing Ratio) de Suelo en laboratorio Utilizando una Energía modificada (Proctor Modificado)

Datos del Proctor Modificado			Datos de la Energía de Compactación			Datos del Molde		
Densidad Seca Máxima		cm ³	Peso del Martillo		Kg	Diametro del Molde		cm
Contenido de Humedad Óptimo		%	Altura de Caída del Martillo		cm	Altura del Molde		cm
			Número de Golpes			Altura del Disco Espaciador		cm
Datos del Equipo de Penetración						Altura de la Muestra		cm
Constante de Anillo de Carga						Área		cm ²
Área del Pistón		cm ²				Volumen		cm ³

Datos de Ensayo de Compactación								
Muestras	Unidades	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		
Número de Golpes		55		26		12		
Ubicación del contenido de humedad		Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba	
Condición de la Muestra		No Satur.	Saturado	No Satur.	Saturado	No Satur.	Saturado	
Peso de Capsula	gr							
Peso de Capsula + Muestra Humeda	gr							
Peso de Capsula + Muestra Seca	gr							
Peso Agua	gr							
Peso de Muestra Seca	gr							
Contenido de Humedad	%							
Porcentaje de Absorción								

Nombre del Recipiente	N°	1	2	3	4	5	6
Peso del Molde	gr						
Peso del Molde + Muestra Húmeda	gr						
Peso de la Muestra Húmeda	gr						
Peso de la Muestra Seca	gr						
Peso del Agua Absorbida	gr						
Porcentaje de Absorción	%						
Densidad Húmeda	gr/cm ³						
Densidad Seca	gr/cm ³						

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°25.- Modelo de Observación en Laboratorio: Expansión CBR

 <small>Universidad Andina del Cusco</small>	<h2>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</h2> FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL								
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"								
Ensayo:	Expansion con Muestra de CBR								
Ubicación:									
Responsable:	Mauro Baca Noa								
Descripción de Muestra:	Suelo Natural								
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos								
Fecha de Ensayo:									
<u>Expansión con Muestra de CBR</u>									
Tiempo Acumulado			Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3		
			Dial * 0.001"	Hincharamiento		Dial * 0.001"	Hincharamiento		Dial * 0.001"
Dias	Horas	Minutos		(mm)	%		(mm)	%	
0	0	0.00							
0.0625	1	30.00							
0.125	3	0.00							
0.25	6	0.00							
0.5	12	0.00							
1	24	0.00							
2	48	0.00							
4	96	0.00							

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°26.- Modelo de Observación en Laboratorio: Penetración CBR

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO								
Universidad Andina del Cusco		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA						ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
Título de Tesis:		"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"								
Ensayo:		De Carga Penetracion con Muestra de CBR								
Ubicación:										
Responsable:		Mauro Baca Noa								
Descripción de Muestra:		Suelo Natural								
Referencia:		MTC E 132 CBR de Suelos								
Fecha de Ensayo:										
<u>Ensayo de Carga Penetracion con Muestra de CBR</u>										
Penetracion		Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
		55 Golpes			26 Golpes			12 Golpes		
(mm)	pulg	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)
0.00	0.000									
0.63	0.025									
1.27	0.050									
1.91	0.075									
2.54	0.100									
3.17	0.125									
3.81	0.150									
5.08	0.200									
7.62	0.300									
10.16	0.400									
12.70	0.500									

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°27.- Modelo de Observación en Laboratorio: Compresión No Confinada

 Universidad Andina del Cusco	<h1 style="margin: 0;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</h1> FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"	
Ensayo:	Compresión No Confinada	
Ubicación:		
Responsable:	Mauro Baca Noa	
Descripción de Muestra:	Suelo natural	
Referencia:	MTC E 121 Compresion No Confinada	
Fecha de Ensayo:		

Ensayo de Compresión No Confinada

Dimensiones de la muestra			Dimensiones de la muestra		
Diametro		mm	Peso		gr
Altura Lo		mm	Peso Unitario Húmedo		gr/cm ³
Area		cm ²	Contenido de Humedad		%
Volumen		cm ³	Peso Unitario Seco		gr/cm ³

Caracterización Inicial de la Muestra							
Deformimetro de Longitud	Deformimetro de Carga	Carga total Sobre la Muestra	Deformimetro de la Muestra Δ L	Deformación Unitaria Δ L/L0	Factor de Corrección de Área (1-Δ L) / L0	Área Corregida A'	Esfuerzo Sobre la Muestra
	M-01	M-01					M-01
*0.01 mm	*0.419 kg	kg	mm			cm ²	kg/cm ²
10							
20							
30							
40							
50							
60							
70							
80							
90							
100							
125							
150							
175							
200							
250							
300							
350							
400							
450							
500							
600							
700							
800							
900							
1000							
1100							
1200							

Fuente: Elaboración Propia



3.4.2. Instrumentos de Ingeniería

3.4.2.1. Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado (MTC E 107, ASTM D 422).

- Balanza con sensibilidad de 0,01 gr para pesar el material que pasan por los tamices al pasante del tamiz N.º 4.
- Horno de temperaturas constantes de 110 °C.
- Tamices de distribución cuadrada.
- bandejas para el manejo y secado de las muestras.
- Cepillo y brocha.

Tabla N°28.- Tamices Necesarios para Granulometría

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 10	2,000
Nº 20	0,840
Nº 40	0,425
Nº 60	0,260
Nº 140	0,106
Nº 200	0,075

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones(MTC), 2016)

3.4.2.2. Ensayo de Peso Específico o Gravedad Específica (MTC E 113, NTP 339.131).

- Picnómetro – El agua del picnómetro podrá estar ya sea en un matraz taponado, matraz de yodo taponado, o un matraz volumétrico con una capacidad mínima de 250 ml, el volumen del picnómetro debe ser de 2 a 3 veces más grande que el volumen de la mezcla suelo-agua.
- Balanza de una precisión de lectura de 0,01gr y una capacidad menor de 2000 gr.
- Horno de una temperatura de 110 °C.



- Aparato para remover el aire atrapado o bomba de vacío, para remover el aire entrampado.
- Termómetro de 0,1°C de aproximación y de una longitud entre los 25 y 80 mm.
- Un embudo de superficie lisa que permita el paso de los sólidos de suelo al picnómetro.
- Tamiz – N.º 4 (4,760mm) para tamizado de material.
- Agua destilada o agua pura.

Tabla N°29.- Tipo de Suelo Para la Gravedad Especifica

Tipo de suelo	Masa de espécimen seco (g) cuando se usa un Picnómetro de 250 mL	Masa de espécimen seco (g) cuando se usa un Picnómetro de 500 mL
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Limo o arcilla	35 ± 5	50 ± 10

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones(MTC), 2016)

3.4.2.3. Ensayo de Contenido de Humedad (MTC E 108, ASTM D2216).

- Horno de temperatura de 110 °C.
- Balanzas de aproximación de 0,01 gr de precisión para muestras de menos de 200 gr.
- Recipientes apropiados bandejas resistentes a la corrosión.
- Otros utensilios empleo como cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo, divisores de muestras, guantes, tenazas, etc.

Tabla N°30.- Valores Mínimos de Contenido de Humedad

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados	
		a ± 0,1%	a ± 1%
2 mm o menos	2,00 mm (Nº 10)	20 g	20 g *
4,75 mm	4,760 mm (Nº 4)	100 g	20 g *
9,5 mm	9,525 mm (3/8")	500 g	50 g
19,0 mm	19,050 mm (3/4")	2,5 kg	250 g
37,5 mm	38,1 mm (1 1/2")	10 kg	1 kg
75,0 mm	76,200 mm (3")	50 kg	5 kg

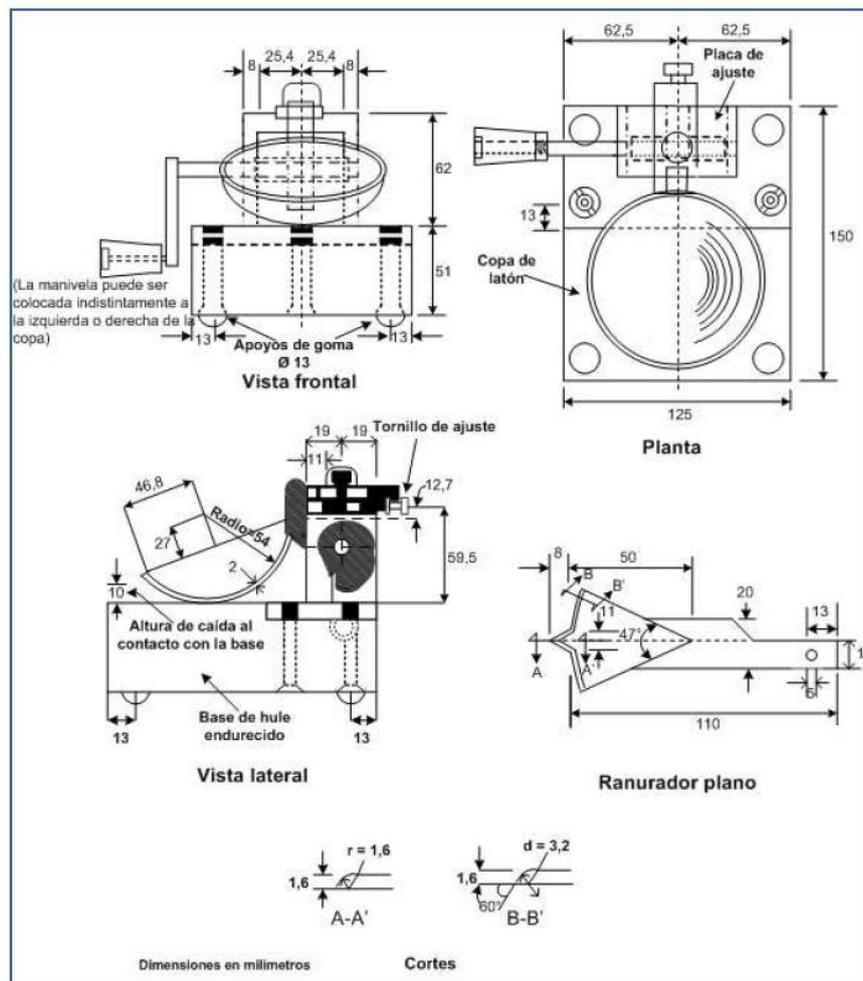
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones(MTC), 2016)

3.4.2.4. Ensayo de Índices de Plasticidad.

3.4.2.4.1. Ensayo de Limite Liquido (MTC E110, NTP 339.129).

- Vasija de porcelana de 115 mm (4.5") de diámetro aproximadamente.
- Instrumento del límite líquido (o de Casagrande).
- Acanalador. Conforme con las dimensiones críticas indicadas en la figura 36.
- Balanza de 0,01 gr de precisión.
- Horno de temperaturas de 110 °C.
- Espátula de 3" a 4" de longitud y 20 mm de ancho aproximadamente.
- Agua pura.

Figura N°29.- Equipo Necesario para Limites de Consistencia



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones(MTC), 2016)



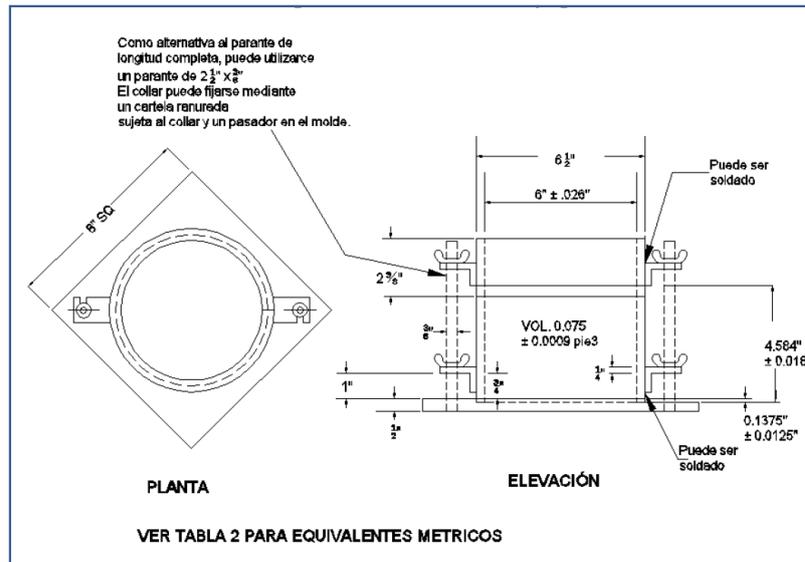
3.4.2.4.2. Ensayo de Limite Plástico e Índice de Plasticidad (MTC E 111, NTP 339.129).

- Espátula 3"– 4" de longitud y 20 mm de ancho.
- Recipiente de porcelana 4" de diámetro.
- Balanza de precisión de 0,01 gr.
- Horno de temperatura de 110 °C.
- Tamiz N° 40.
- Agua pura.
- Plancha de Vidrio para la determinación de humedades.
- Superficie o vidrio grueso esmerilado.

3.4.2.5. Ensayo de Proctor Modificado (MTC E 115, ASTM D698).

- Molde de 6 pulgadas de medidas 152,4 mm de diámetro interior, una altura de: 116,4 mm y un volumen de 2 124 cm³.
- Pisón o Martillo de longitud 457,2 mm de la superficie de espécimen. El peso del pisón será 4,54 kg.
- Balanza de precisión de 1 gr.
- Horno para secado muestra de una temperatura uniforme de 110.
- Regla recta metálica de medida no menor que 254 mm (10").
- Tamices o Mallas. - De 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg), 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) y 4,75mm (N.º 4), conforme a los requisitos de las especificaciones.
- Otras herramientas como cucharas, morteros, mezclador, paleta, espátula, etc.

Figura N°30.- Equipo necesario para Proctor Modificado

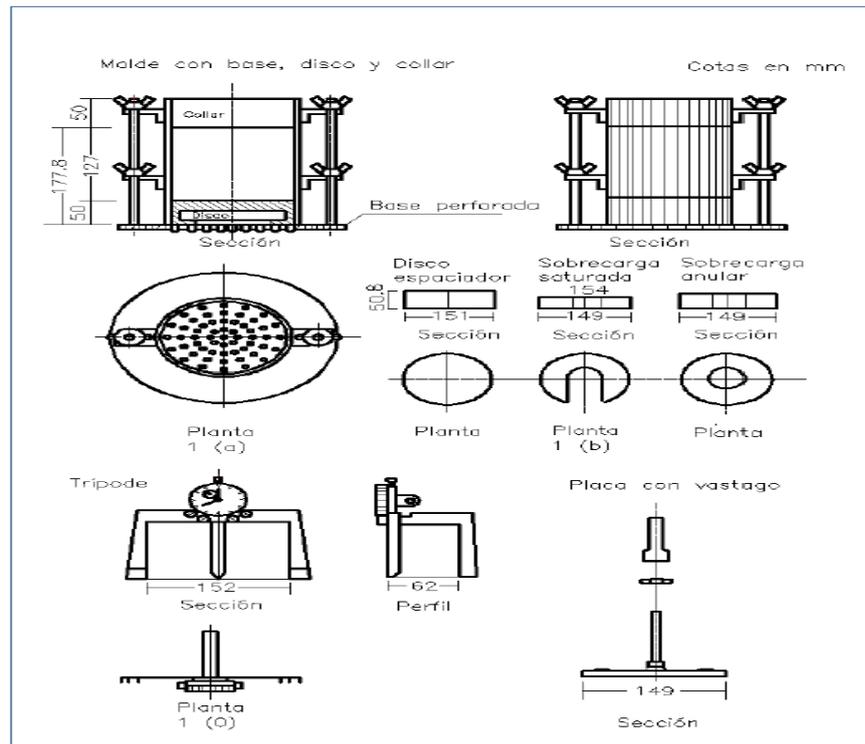


Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones(MTC), 2016)

3.4.2.6. Ensayo de Índice de Soporte de California CBR en Laboratorio (MTC E 132, ASTM D1883.3).

- Prensa para forzar la penetración del espécimen.
- Molde de 6" de diámetro interior y de 7" de altura, con un collar de metal suplementario de 50.8 mm de altura y una placa de base perforada de 3/8" de espesor.
- Disco espaciador circular de 150.8 mm de diámetro exterior y de 2.416" de espesor.
- Pisón de compactación al igual del ensayo Proctor Modificado.
- Aparato para medir la expansión con tornillos que permita regular su altura.
- Pesas. Uno o dos pesas ranuradas de metal cada una con peso de 2.27 kg.
- Pistón de penetración, metálico de sección transversal circular, de 1.954" de diámetro, área de 19,35 cm² y con longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración.
- Dos diales de longitud mínima de 25 mm y divisiones lecturas en 0.025 mm.
- Recipiente con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.
- Horno de temperatura de 110 °C.
- Balanzas de capacidad de 1000 gr con sensibilidades de 0.01 gr.
- Tamices N° 4.

Figura N°31.- Equipo Necesario para CBR



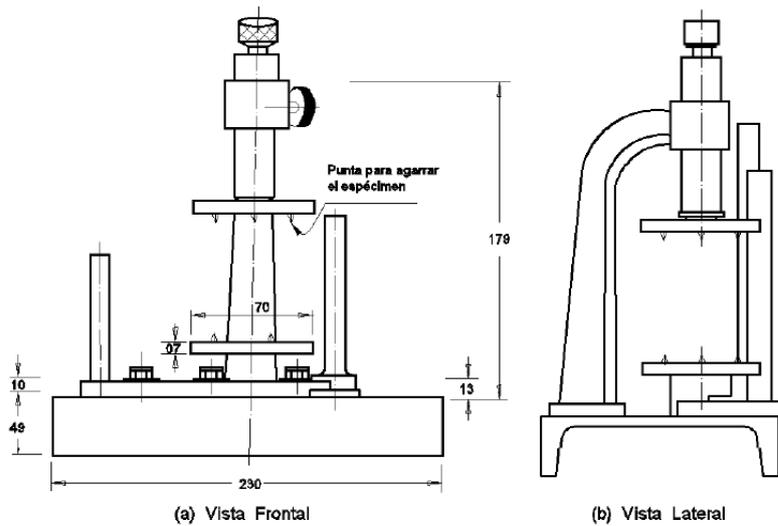
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones(MTC), 2016)

3.4.2.7. Ensayo de Compresión No Confinada para la Cohesión (MTC E 123, ASTM D2166).

- Aparato de Compresión: conformado por una prensa que rompa el espécimen con una sensibilidad del 1% de la resistencia a la compresión simple.
- Un tallador de probetas de muestras (sierra de alambre, cuchillos, etc.)
- Un cronómetro.
- Balanzas con una precisión del 0,1 gr.
- Un calibrador con nonio capaz de medir las dimensiones físicas de la probeta con aproximación de 0,1 mm. Calibrador Vernier o similar.
- Horno que mantenga una temperatura de 110 °C.



Figura N°32.- Esquema de Compresión No Confinada



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones(MTC), 2016)

3.5. Procedimientos de Recolección de Datos

3.5.1 Muestreo de Suelo (MTC E 101).

a) Equipos Utilizados en la Prueba

- ✓ Palas y Picos
- ✓ Barreta
- ✓ Flexómetro de 5m
- ✓ Sacos y/o Baldes
- ✓ Yeso
- ✓ Movilidad para el traslado de material.

b) Procedimiento

La zona de estudio está ubicada entre la comunidad de Conchacalla y el Abra de Occoruro perteneciente a la carretera CU-123 del, distrito de San Jerónimo, Provincia del Cusco, Departamento del Cusco entre el kilometraje 14.250m y el kilometraje 15.370m las muestras se tomaron de acuerdo a la normatividad MTC E-101 Muestreo de Suelos y Rocas del Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Se extrajo de cada calicata material en un promedio de 60 kg y de 120.00 kg de materia para los ensayos de granulometría, peso específico, contenido de humedad límites de consistencia y



CBR, según la normatividad que precisa para cada tipo en ensayo y asiendo el acumulado de materia y sumiendo los desperdicios a generar. A diferencia para la compresión simple se extrajo material de una profundidad de 80 cm de una arista de 45 cm de cubo para dicha muestra.

Figura N°33.- Delimitación de la zona de estudio km 14.125 a km 15.310 de la carretera Conchacalla abra Occoruro.



Fuente: Adaptación de Google Earth Pro

Se trabajó tres calicatas en una longitud de un kilómetro y doscientos metros entre la calicata uno y la calicata tres encontrándose mayor cantidad de material arcilloso en la calicata del medio (calicata N°-02) cuyas coordenadas son Este 191805.296, Norte 8492787.02, Elevación 3910 msnm. En el km 14.650 de la Carretera Conchacalla abra Occoruro.

Figura N°34.- Excavación de la calicata N°-01, km 15.310 de la carretera Conchacalla abra Occoruro.



Fuente. Propia



Figura N°35.- Excavación de la calicata N°-02, km 14.650 de la carretera Conchacalla abra Occoruro.



Fuente. Propia

Figura N°36.- Excavación de la calicata N°-03, km 14.125 de la carretera Conchacalla abra Occoruro.



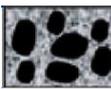
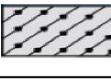
Fuente. Propia

En cada una de las calicatas se extrajo las siguientes cantidades, granulometría entre 3.5 y 4.0 kg, límites de consistencia entre 2.5 kg y 3.5kg, peso específico entre 1.5 kg y 2.5 kg, contenido de humedad entre 2.5 kg y 3.0 kg y CBR entre 6.5 kg y 8.0 kg eso es en cuanto a suelo natural para los caos de congelamiento se utilizó las cantidades de cada ensayo a realizar.

c) Toma de Datos

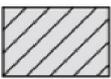


Tabla N°31.- Estratificación del Suelo Calicata-01, km 15.310

<u>Estratificación y Muestreo de Calicatas N°01</u>							
Coordenadas UTM		E: 191701.97		N: 8492656.82		Z: 3957 msnm	
Progresiva de Calicata-01		15.310 km					
Profundidad (m)	Punto de Extracción	Estrato (m)	Símbolo	In Situ	Clasificación SUCS		
0.00	Calicata N°-01	Estrat.01 (0.00-0.22)		Relleno Organico y Desechos Inorganicos			
0.10		Estrat. 02 (0.22 - 0.83)		presencia de material compactada (piedra)	GP (brava mal Graduada)		
0.20				suelo denso de color rojizo	GC (grava arcillosa)		
0.40		Estrat. 04 (1.20 - 1.55)		Material no homogéneo gravoso color negruzco marrón			SC (arena arcillosa)
0.60				0.80	1.00	1.20	1.40

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°32.- Estratificación del Suelo Calicata-02, km 14.650

<u>Estratificación y Muestreo de Calicatas N°02</u>							
Coordenadas UTM		E: 191802.24		N: 8492802.87		Z: 3907 msnm	
Progresiva de Calicata-02		14.650 km					
Profundidad (m)	Punto de Extracción	Estrato (m)	Símbolo	In Situ	Clasificación SUCS		
0.00	Calicata N°-02	Estrat.01 (0.00-0.35)		Relleno Orgánico y Desechos Inorgánicos			
0.10		Estrat. 02 (0.35 - 0.83)		Material arcilloso que se fractura muy rápido al secarse	CL (arcilla inorgánica de baja plasticidad)		
0.20				Material no homogéneo gravoso color negruzco marrón	SC (arena arcillosa)		
0.40		Estrat. 04 (1.20 - 1.50)		Presencia de material brillante en la arcilla como cristales de minerales			OL (limo orgánico o arcilla de baja plasticidad)
0.60				0.80	1.00	1.20	1.40

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°33.- Estratificación del Suelo Calicata-03, km 14.125

Estratificación y Muestreo de Calicatas N°03						
Coordenadas UTM		E: 191737.27		N: 8493126.82		Z: 3883 msnm
Progresiva de Calicata-03		14.125 km				
Profundidad (m)	Punto de Extracción	Estrato (m)	Símbolo	In Situ	Clasificación SUCS	
0.00	Calicata N°-03	Estrat.01 (0.00-0.20)		Relleno Orgánico y Desechos Inorgánicos		
0.10		Estrat. 02 (0.20 - 0.85)		Material con aparente forma de arcilla quebradiza al cogerlo	CL (arcilla inorgánica de baja plasticidad)	
0.20						
0.40		Estrat. 03 (0.85 - 1.25)		Material no homogéneo gravoso color negruzco marrón	SC (arena arcillosa)	
0.60						
0.80		Estrat. 04 (1.25 - 1.45)		Material homogéneo fino color marrón	ML (limo orgánico de baja plasticidad)	
1.00						
1.20						
1.40						
1.60						

Fuente: Elaboración Propia

Antes de extraer la muestra se identifica los estratos en cada una de las calicatas, se extrajo la muestra representativa según la norma del MTC E-101 de Muestreo de Suelo y Rocas, que recomienda obtener muestras representativas para la investigación, de acuerdo a los ensayos a realizar.

Figura N°37.- Muestra extraída de la calicata N°-01, km 15.310



Fuente. Propia



Figura N°38.- Muestra extraída de la calicata N°-02, km 14.650



Fuente. Propia

3.5.2 Granulometría del Suelo por Tamizado (MTC E 107, ASTM D422)

a) Equipos Utilizados en la Prueba

- ✓ Balanza de precisión de 0.01 gr.
- ✓ Serie de tamices 25,4 mm 1", 3/4", 3/8".
- ✓ Serie de tamices N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 60, N° 140, y N° 200.
- ✓ Bandejas para colocar las muestras retenidas.
- ✓ Cepillo y brochas y mantel para limpiar.

b) Procedimiento

- ✓ Se cuarteo la muestra mecánicamente
- ✓ Del cuarteo mecánico se escoge una muestra representativa de las bandejas pasantes.
- ✓ Lavado con ayuda del tamiz N° 200 para eliminar partículas finas, con precaución de no perder muestra.
- ✓ Se seca la muestra lavada en el horno por 24 horas a 110 °C.
- ✓ Se procede a tamizar, teniendo en cuenta el orden de los tamices de forma descendiente.
- ✓ Se anota el peso retenido en cada tamiz.



Figura N°39.- Cuarteo de la muestra para el tamizado



Fuente. Propia

Figura N°40.- Proceso del tamizado mecánico



Fuente. Propia

Figura N°41.- Granulometría de la muestra



Fuente. Propia



➤ **Recolección de Datos Para Calicata N°-02**

Tabla N°35.- Recolección de Datos del Análisis Granulométrico para Calicata N°-02,
km 14.650 estrato N°4 a una profundidad de 1.60m.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
<small>Universidad Andina del Cusco</small>	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"					
Ensayo:	Análisis Granulométrico del Suelo por Tamizado					
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123					
Responsable:	Mauro Baca Noa					
Descripción de Muestra:	Calicata N°-02 medio					
Referencia	MTC E 107 Análisis Granulométrico de Suelos por tamizado					
Fecha de Ensayo:	06/02/2023					
<u>MTC E 107, Análisis Granulométrico de Suelo por Tamizado</u>						
Peso de la Muestra Seca:	gr.	1193.9	% Grava	100.00 %		
Peso de Muestra lavada:	gr.	452.52	% Arena	0.00 %		
Pérdida por Lavado:	gr.	741.38	% Finos	0.00 %		
Acumulado						
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Corregido	% Retenido	% Retenido	% Pasa
3"	75.000					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.000	20.66				
3/8"	9.500	39.37				
N° 4	4.700	52.24				
N° 10	2.000	61.32				
N° 20	0.840	60.77				
N° 40	0.425	62.22				
N° 60	0.260	40.35				
N° 140	0.106	83.40				
N° 200	0.075	30.16				
Fondo + suelo Lavado		743.19				
fondo		1.81				
TOTAL		1193.68				
Tamaño máximo Absoluto:	1"		D10 (mm)			
Tamaño máximo Nominal:	3/8"		D30 (mm)			
			D60 (mm)			
Cu =						
Cc =						

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Calicata N°-03**

Tabla N°36.- Recolección de Datos del Análisis Granulométrico para Calicata N°-03,
km 14.125 estar N°4 a una profundidad de 1.50m.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
<small>Universidad Andina del Cusco</small>	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"				
Ensayo:	Análisis Granulométrico del Suelo por Tamizado				
Ubicación:	km 14.125 de la carretera CU-123				
Responsable:	Mauro Baca Noa				
Descripción de Muestra:	Calicata N°-03 Extremo inferior				
Referencia	MTC E 107 Análisis Granulométrico de Suelos por tamizado				
Fecha de Ensayo:	06/02/2023				
<u>MTC E 107. Análisis Granulométrico de Suelo por Tamizado</u>					
Peso de la Muestra Seca:	gr.	1217.52	% Grava	100.00	
Peso de Muestra lavada:	gr.	611.05	% Arena	0.00	
Perdida por Lavado:	gr.	607.47	% Finos	0.00	
			Acumulado		
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Corregido	% Retenido	% Pasa
3"	76.200				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400	35.60			
3/4"	19.000	30.64			
3/8"	9.500	19.44			
N° 4	4.700	24.39			
N° 8	2.000	25.70			
N° 16	0.840	29.30			
N° 30	0.425	34.73			
N° 50	0.260	84.90			
N° 100	0.150	215.77			
N° 200	0.075	77.15			
Fondo + suelo Lavado		642.78			
fondo		35.31			
TOTAL		1220.40			
Tamaño máximo Absoluto:	1"		D10 (mm)		
Tamaño máximo Nominal:	3/4"		D30 (mm)		
			D60 (mm)		
Cu =					
Cc =					

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°42.- Proceso de Tamizado calicata N°+-03



Fuente: Propia

3.5.3 *Peso Específico o Gravedad específica (MTC E 113, ASTM C-128)*

a) Equipos Utilizados en la Prueba

- ✓ Balanzas sensibilidad y precisión de 0.01 gr.
- ✓ Bomba de vacíos para extraer el aire retenido
- ✓ Horno de temperatura de 110 °C
- ✓ Pipeta de 500 cm³ de capacidad
- ✓ Cono y varilla para medir la absorción.
- ✓ Pissetas
- ✓ Embudo
- ✓ Envases o bandejas
- ✓ Brocha y/o Cepillo

b) Procedimiento

- ✓ Se uniformiza la muestra de suelo, mezclado uniformemente y cuartearlo hasta obtener una muestra representativa.
- ✓ Se deja la muestra para la absorción de agua lo suficiente durante 24 horas.
- ✓ Se procede a determinar el método del cono de resistencia de la muestra para colocar en la pipeta.
- ✓ Se coloca en el frasco una muestra de 300 gr de suelo llenado parcialmente con agua.
- ✓ Luego se agitó la pipeta para eliminar burbujas manualmente, y finalmente mecánicamente con la bomba de vacíos hasta extraer las burbujas de aire.



Figura N°43.- Muestra preparada para peso específico.



Fuente: Propia

- ✓ Una vez eliminado el aire se llena de agua hasta la marca del cuello de la pipeta de agua para proceder a pesarlo.
- ✓ Se extrae la muestra y tener la pipeta vacía par el peso de la misma.

Figura N°44.- Procedimiento para el Peso Especifico

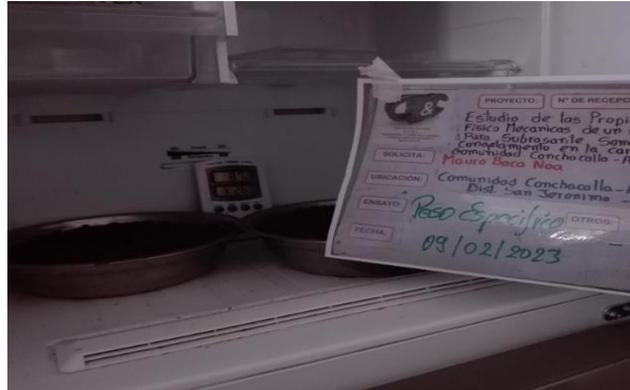


Fuente: Propia

- ✓ Para suelo congelado se cogió un amuestra de 400 gr de suelo para ambos métodos de -5°C y de -10°C , previamente pasado por el tamiz N°-04, la misma que se utilizó para suelo natural.
- ✓ Este material se congelo en dos diferentes congeladoras para evitar la pérdida del proceso en diferente tiempos y grados de congelamiento.



Figura N°45.- Muestra congelada para el Peso Específico para suelo congelado a -5°C



Fuente: Propia

- ✓ Para la realización de la prueba de Peso Específico se tomó la muestra el último día de cada proceso aproximadamente entre las dos a tres de la tarde transportándolo a laboratorio.
- ✓ La temperatura en el interior de la congeladora se tomó con el termohidrometro para interiores y exteriores fue un proceso tedioso al determinar la temperatura exacta

Figura N°46.- Muestra congelada para el Peso Específico para suelo congelado a -10°C .



Fuente: Propia

- ✓ Luego se desarrolló el mismo proceso del material natural luego de los cinco días para el primer proceso y después de los diez días para el segundo proceso.



c) Toma de Datos

➤ **Recolección de Datos Para Suelo Natural**

Tabla N°37.- Recolección de Datos del Peso Específico para Suelo Natural calcata
N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.

 				
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Peso Específico Mediante Picnómetro de Agua			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo en Condiciones Naturales			
Referencia:	MTC E 113 Determinación del Peso Específico mediante Picnómetro de Agua			
Fecha de Ensayo:	03/02/2023			
<u>Peso Específico MTC E 113, Basado en la Norma ASTM D-</u>				
Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Capacidad del Picnómetro	cm ³	500	500	
Peso del suelo seco	gr	270.13	271.05	
Peso del frasco + peso del suelo + peso del agua	gr	838.25	839.04	
Temperatura	°C	16	16	
Peso del Frasco + peso del agua	gr	665.87	665.78	
Corrección por Temperatura	K	1.0014134	1.0014134	
Peso Específico Relativo del Suelo	Gs			
Peso Específico	Gs			
Peso Específico			g/cm³	

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C**

Tabla N°38.- Recolección de Datos del Peso Específico para Suelo Congelado a -5 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.

 Universidad Andina del Cusco	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Peso Especifico Mediante Picnómetro de Agua			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C			
Referencia:	MTC E 113 Determinación del Peso Especifico mediante Picnómetro de Agua			
Fecha de Ensayo:	17/02/2023			
<u>Peso Especifico MTC E 113, Basado en la Norma ASTM D-</u>				
Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Capacidad del Picnómetro	cm ³	500	500	
Peso del suelo seco	gr	270.63	271.95	
Peso del frasco + peso del suelo + peso del agua	gr	838.05	838.84	
Temperatura	°C	16	16	
Peso del Frasco + peso del agua	gr	665.87	665.78	
Corrección por Temperatura	K	1.0014134	1.0014134	
Peso Especifico Relativo del Suelo	Gs			
Peso Especifico	Gs			
Peso Especifico				g/cm ³

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C**

Tabla N°39.- Recolección de Datos del Peso Específico para Suelo Congelado a -10 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
Universidad Andina del Cusco	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Peso Especifico Mediante Picnómetro de Agua			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C			
Referencia:	MTC E 113 Determinación del Peso Especifico mediante Picnómetro de Agua			
Fecha de Ensayo:	10/03/2023			
<u>Peso Especifico MTC E 113, Basado en la Norma ASTM D-</u>				
Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Capacidad del Picnómetro	cm ³	500	500	
Peso del suelo seco	gr	270.33	271.15	
Peso del frasco + peso del suelo + peso del agua	gr	837.45	838.14	
Temperatura	°C	16	16	
Peso del Frasco + peso del agua	gr	665.87	665.78	
Corrección por Temperatura	K	1.0014134	1.0014134	
Peso Especifico Relativo del Suelo	Gs			
Peso Especifico	Gs			
Peso Especifico				g/cm ³

Fuente: Elaboración Propia



3.5.4 Contenido de Humedad (MTC E 108, ASTM D2216)

a) Equipos Utilizados en la Prueba

- ✓ Balanzas de precisión 0.01 gr.
- ✓ Taras o vasijas de metal
- ✓ Hornos de secado a temperaturas 110 °C
- ✓ Cucharones
- ✓ Guantes
- ✓ Bandejas para el secado de materiales

b) Procedimiento

- ✓ Se determina una muestra representativa.
- ✓ Se procede al secado de la muestra.
- ✓ Se pesa las taras en la balanza de precisión de 0.01 gr.
- ✓ Se pesan las muestras juntamente con las taras.
- ✓ Se ponen las muestras en el horno por 24 horas.
- ✓ Luego de las 24 horas se pesa las muestras secas.

Figura N°47.- Proceso de secado para contenido de humedad.



Fuente: Propia

- ✓ Para suelo congelado se cogió un muestra de 150 gr. a 200 gr. de suelo para ambos métodos de -5 °C y de -10 °C, previamente pasado por el tamiz N°-04, la misma que se utilizó para suelo natural.
- ✓ Este material se congelo en dos refrigeradoras para evitar la pérdida de tiempos (días) del proceso en diferentes grados de congelamiento -5 °C y de -10 °C.



Figura N°48.- Muestra congelada para Contenido de Humedad para suelo congelado a -5°C .



Fuente: Propia

- ✓ Para la realización de la prueba del Contenido de Humedad se tomó la muestra el último día de cada proceso transportándolo a laboratorio después del mediodía.

Figura N°49.- Muestra congelada para Contenido de Humedad para suelo congelado a -10°C



Fuente: Propia

- ✓ Luego se desarrolló el mismo proceso del material natural luego de los cinco días para el primer proceso y después de los diez días para el segundo proceso.



c) Toma de Datos

➤ **Recolección de Datos Para Suelo Natural**

Tabla N°40.- Recolección de Datos para el Contenido de Humedad de Suelo Natural calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.

 				
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Natural			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Natural			
Referencia:	MTC E 108 Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo			
Fecha de Ensayo:	02/02/2023			
<u>MTC E 108, Basado en la Norma ASTM D-2216</u>				
Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso de Recipiente	gr	36.11	42.09	
Peso de Recipiente + Muestra Húmeda	gr	193.04	326.96	
Peso de Recipiente + Muestra Seca	gr	170.74	286.20	
Peso del Agua	gr			
Peso de la Muestra Seca	gr			
Contenido de Humedad	%			
Contenido de Humedad Promedio				

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C**

Tabla N°41.- Recolección de Datos para el Contenido de Humedad de Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.

 				
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Natural			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a -5 °C			
Referencia:	MTC E 108 Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo			
Fecha de Ensayo:	16/02/2023			
<u>MTC E 108, Basado en la Norma ASTM D-2216</u>				
Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso de Recipiente	gr	36.10	42.11	
Peso de Recipiente + Muestra Húmeda	gr	193.14	326.76	
Peso de Recipiente + Muestra Seca	gr	171.34	287.05	
Peso del Agua	gr			
Peso de la Muestra Seca	gr			
Contenido de Humedad	%			
Contenido de Humedad Promedio				

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C**

Tabla N°42.- Recolección de Datos para el Contenido de Humedad de Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.

 				
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Natural			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a -10°C			
Referencia:	MTC E 108 Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo			
Fecha de Ensayo:	02/03/2023			
<u>MTC E 108, Basado en la Norma ASTM D-2216</u>				
Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso de Recipiente	gr	35.85	42.21	
Peso de Recipiente + Muestra Húmeda	gr	193.54	326.96	
Peso de Recipiente + Muestra Seca	gr	172.84	287.15	
Peso del Agua	gr			
Peso de la Muestra Seca	gr			
Contenido de Humedad	%			
Contenido de Humedad Promedio				

Fuente: Elaboración Propia

3.5.4 Limite Líquido (MTC E110, NTP 339.129)

a) Equipos Utilizados en la Prueba

- ✓ Cuchara o cucharón de Casagrande
- ✓ Ranurador o separador



- ✓ Balanza de precisión de 0.01 gr
- ✓ Taras de tamaño uniforme metálicos
- ✓ Pipeta para el agua
- ✓ Tamiz N°40 para selección de material

b) Procedimiento

- ✓ Se tiene un muestra previamente pasada por el tamiz N° 40 esta debe ser aproximadamente de 200 gr.
- ✓ Se coloca las muestras en vasijas de porcelana para triturarlas y obtener una muestra homogénea.
- ✓ Se deja saturar la muestra durante 24 horas para que las partículas absorban agua necesaria.
- ✓ Se coloca en la cuchara de Casagrande una muestra extendiéndolo con la espátula una sola vez sin incluir burbujas, se nivela la muestra con una superficie pareja de profundidad aproximadamente de 1 cm.
- ✓ Seguidamente se realiza la roturación de la muestra en dos partes, en una sola pasada con el ranurador.
- ✓ Se gira la manija a velocidad constante, hasta que se unan las dos mitades en una longitud aproximada de 0.5", para luego anotar la cantidad de golpes.
- ✓ Una vez unidas las partes de toma una porción representativa de la mitad de ambas muestras para determinar su peso húmedo y seco luego de ponerla al horno por 24 horas.
- ✓ Este procedimiento se repite por varias veces hasta encontrar datos adecuados para obtener información correcta.

Figura N°50.- Uso de la cuchara de Casa Grande.





Fuente: Propia

- ✓ Para suelo congelado se cogió un muestra de 200 gr. de suelo para ambos métodos de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, previamente pasado por el tamiz N°-40, la misma que se utilizó para suelo natural.

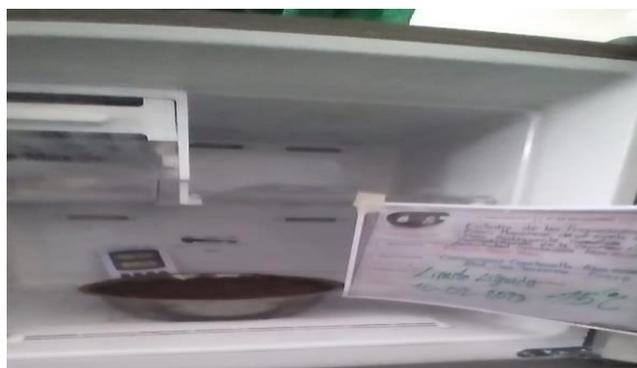
Figura N°51.- Muestra congelada para Límite Líquido para suelo congelado a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$



Fuente: Propia

- ✓ Este material se congelo en dos refrigeradoras para evitar la pérdida de tiempos (días) del proceso en diferentes grados de congelamiento $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- ✓ Para la realización de la prueba del Límite Líquido se tomó la muestra el último día de cada proceso transportándolo a laboratorio entre las diez y once de la mañana.

Figura N°52.- Muestra congelada para Límite Líquido para suelo congelado a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$



Fuente: Propia



- ✓ Luego se desarrolló el mismo proceso del material natural luego de los cinco días para el primer proceso y después de los diez días para el segundo proceso.

c) Toma de Datos

➤ **Recolección de Datos Para Suelo Natural**

Tabla N°43.- Recolección de Datos para el Limite Liquido de Suelo Natural, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.

 					
<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</p> <p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>					
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"				
Ensayo:	Determinación del Limite Liquido del Suelo				
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123				
Responsable:	Mauro Baca Noa				
Descripción de Muestra:	Suelo en Condición Natural				
Referencia:	MTC E 110 Determinación del Límite Líquido de los Suelos				
Fecha de Ensayo:	03/02/2023				
MTC E 110, Determinación del Limite Liquido (LL) de los Suelos					
Tamiz N°	Unidades	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Peso Suelo Húmedo + Recipiente Metálico	gr	21.09	19.01	17.54	21.34
Peso Suelo Seco + Recipiente Metálico	gr	18.25	16.53	14.89	18.44
Peso Recipiente Metálico	gr	8.40	7.93	5.79	8.93
Peso Suelo Seco	gr				
Peso Agua	gr				
Contenido de Humedad (%)	%				
Número de Golpes	N	41	35	28	21
Limite Liquido					

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C**

Tabla N°44.- Recolección de Datos para el Límite Líquido de Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"				
Ensayo:	Determinación del Límite Líquido del Suelo				
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123				
Responsable:	Mauro Baca Noa				
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C				
Referencia:	MTC E 110 Determinación del Límite Líquido de los Suelos				
Fecha de Ensayo:	17/02/2023				
MTC E 110, Determinación del Límite Líquido (LL) de los Suelos					
Tamiz N°	Unidades	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Peso Suelo Húmedo + Recipiente Metálico	gr	20.09	20.11	20.04	20.44
Peso Suelo Seco + Recipiente Metálico	gr	17.45	17.33	17.19	17.64
Peso Recipiente Metálico	gr	8.42	8.13	7.79	8.23
Peso Suelo Seco	gr				
Peso Agua	gr				
Contenido de Humedad (%)	%				
Número de Golpes	N	39	34	27	18
Límite Líquido					

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C**

Tabla N°45.- Recolección de Datos para el Limite Liquido de Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.

 					
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"				
Ensayo:	Determinación del Limite Liquido del Suelo				
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123				
Responsable:	Mauro Baca Noa				
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C				
Referencia:	MTC E 110 Determinación del Limite Liquido de los Suelos				
Fecha de Ensayo:	10/03/2023				
MTCE 110, Determinación del Limite Liquido (LL) de los Suelos					
Tamiz N°	Unidades	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Peso Suelo Húmedo + Recipiente Metálico	gr	20.49	20.11	20.14	20.54
Peso Suelo Seco + Recipiente Metálico	gr	17.65	17.30	17.29	17.64
Peso Recipiente Metálico	gr	8.40	8.17	7.99	8.03
Peso Suelo Seco	gr				
Peso Agua	gr				
Contenido de Humedad (%)	%				
Número de Golpes	N	42	34	27	19
Limite Liquido					

Fuente: Elaboración Propia

3.5.5 Limite Plástico e Índice de Plasticidad (MTC E111, NTP 339.129)

a) Equipos Utilizados en la Prueba



- ✓ Espátula, o regla metálica de 20 cm.
- ✓ Recipiente de porcelana o metálicas.
- ✓ Balanza de precisión de 0.01 gr
- ✓ Horno de temperatura de 110 °C.
- ✓ Tamiz N°40 para pasante de muestra.
- ✓ Agua.
- ✓ Recipientes o taras.
- ✓ Material de rodadura o vidrio.

b) Procedimiento

- ✓ El procedimiento es similar a la de limite liquido se tiene una muestra pasante del tamiz N° 40 para sumergirlo en agua durante 24 horas luego de la trituración para su homogenización de la muestra se pastosa.
- ✓ Se moldea cilindros con la mano a semejanza de una culebrita de diámetro aproximado de 3.2mm haciendo la comparación con una varilla metálica de 3.2 mm de diámetro sí que presente agrietamiento en el proceso de enrollado.
- ✓ Se pesan las taras para extraer muestra representativa de los enrollados de la parte media para determina el contenido de humedad peso seco y peso húmedo luego de colocarlas de colocar la muestra durante 24h.
- ✓ Se repite el procedimiento por varias veces para obtener datos correctos de la muestra para límite plástico.

Figura N°53.- Obtención de Cilindros para Límite Plástico.



Fuente: Propia

- ✓ Para suelo congelado se cogió un amuestra de 200 gr. de suelo para ambos métodos de -5 °C y de -10 °C, previamente pasado por el tamiz N°-40, la misma que se utilizó para suelo natural.



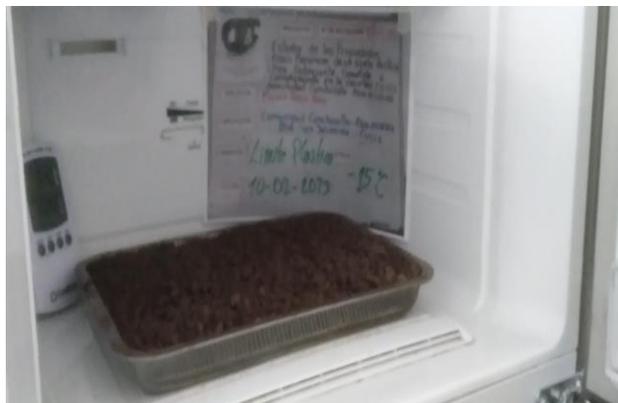
Figura N°54.- Muestra congelada a -5°C , para Límite Plástico.



Fuente: Propia

- ✓ Este material se congeló en dos refrigeradoras para evitar la pérdida de tiempos (días) del proceso en diferentes grados de congelamiento -5°C y de -10°C .
- ✓ Para la realización de la prueba del Límite Plástico e Índice de Plasticidad se tomó la muestra el último día de cada proceso transportándolo a laboratorio entre las diez y once de la mañana.

Figura N°55.- Muestra Congelada a -10°C para Límite Plástico.



Fuente: Propia

- ✓ Luego se desarrolló el mismo proceso del material natural luego de los cinco días para el primer proceso y después de los diez días para el segundo proceso.



c) Toma de Datos

➤ **Recolección de Datos Para Suelo Natural**

Tabla N°46.- Recolección de Datos para el Limite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelo Natural, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.

 				
<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</p> <p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>				
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Limite Plástico e Índice de Plasticidad del Suelo			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Natural			
Referencia:	MTC E 111 Determinación del Limite Plástico			
Fecha de Ensayo:	03/02/2023			
<u>MTC E 111, Determinación del Limite Plástico (L.P.) de los Suelos e Índice de Plasticidad (I.P.)</u>				
Descripción	Unidades	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso Suelo Húmedo + Recipiente Metálico	gr	14.14	17.31	13.31
Peso Suelo Seco + Recipiente Metálico	gr	13.27	16.04	12.48
Peso Recipiente Metálico	gr	8.36	9.24	7.89
Peso Suelo Seco	gr			
Peso Agua	gr			
Contenido de Humedad	%			
Limite Plástico				
Limite Líquido:	%			
Limite Plástico:	%			
Índice de Plasticidad:	%			

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C**

Tabla N°47.- Recolección de Datos para el Limite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
Universidad Andina del Cusco	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Limite Plástico e Índice de Plasticidad del Suelo			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C			
Referencia:	MTC E 111 Determinación del Limite Plástico			
Fecha de Ensayo:	17/02/2023			
<u>MTC E 111, Determinación del Limite Plástico (L.P.) de los Suelos e Índice de Plasticidad (I.P.)</u>				
Descripción	Unidades	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso Suelo Húmedo + Recipiente Metálico	gr	15.35	17.24	14.31
Peso Suelo Seco + Recipiente Metálico	gr	14.32	16.01	13.18
Peso Recipiente Metálico	gr	8.66	9.04	7.19
Peso Suelo Seco	gr			
Peso Agua	gr			
Contenido de Humedad	%			
Limite Plástico				
Limite Líquido:	%			
Limite Plástico:	%			
Índice de Plasticidad:	%			

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C**

Tabla N°48.- Recolección de Datos para el Limite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
Universidad Andina del Cusco	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Limite Plástico e Índice de Plasticidad del Suelo			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C			
Referencia:	MTC E 111 Determinación del Limite Plástico			
Fecha de Ensayo:	10/03/2023			
<u>MTC E 111, Determinación del Limite Plástico (L.P.) de los Suelos e Índice de Plasticidad (I.P.)</u>				
Descripción	Unidades	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso Suelo Húmedo + Recipiente Metálico	gr	14.14	17.32	13.31
Peso Suelo Seco + Recipiente Metálico	gr	13.27	16.04	12.48
Peso Recipiente Metálico	gr	8.36	9.24	7.89
Peso Suelo Seco	gr			
Peso Agua	gr			
Contenido de Humedad	%			
Limite Plástico				
Limite Líquido:	%			
Limite Plástico:	%			
Índice de Plasticidad:	%			

Fuente: Elaboración Propia



3.5.6 Proctor Modificado (MTC E-115, ASTM D698)

a) Equipos Utilizados en la Prueba

- ✓ Moldes de 6 pulgadas de diámetro, altura de 4,58 pulgadas y un volumen de 2124 cm³ aproximadamente.
- ✓ Pisón o martillo de masa 4,54 kg de largo de 457.2mm.
- ✓ Balanza de 0.01gr. de precisión.
- ✓ Horno de temperatura de 110 °C.
- ✓ Regla de 30 cm. Metálica.
- ✓ Tamices de 3/4", 3/8" y tamiz N° 4.
- ✓ Bandejas metálicas para la muestra.
- ✓ Taras o envases metálicos semejantes.
- ✓ otros, badilejos, espátulas, cucharones, pipeta de agua.

b) Procedimiento

- ✓ Para empezar, se preparó la muestra de suelo se hizo pasar por el N°4, 3/8" y 3/4", aproximadamente 13 kg para dicho ensayo. Posteriormente se para secar la muestra.

Figura N°56.- Muestra pasada por el tamiz N-04



Fuente: Propia

- ✓ Previo al mezclado con el suelo con agua se determinó el % de humedad de 16.63% de humedad del suelo y para cada muestra se aumentaría 2% de agua al suelo.



Figura N°57.- Muestras puestas al horno



Fuente: Propia

- ✓ En cada muestra se realizó la compactación en 5 capas, en cada capa a 56 golpes.
- ✓ Luego se retiró el collarín y se niveló la superficie con una regla metálica para luego pesar el molde más el suelo húmedo.
- ✓ Y por último se toma una muestra para el contenido de humedad de la parte central del molde, una proporción de la parte superior e inferior.

Figura N°58.- Peso de la muestra luego de compactado



Fuente: Propia

- ✓ Luego se pasa la muestra antes de colocarlas al horno por un periodo de 24 horas para un secado total.
- ✓ De la misma forma se procede para cada muestra realizando un total de tres ensayos para determinar de la humedad óptima de la muestra de suelo.



Figura N°59.- Adecuación del material para la prueba Proctor.



Fuente: Propia

c) Toma de Datos

- **Recolección de Datos Para Suelo Natural**



Tabla N°49.- Recolección de Datos para el Proctor Modificado de Suelo Natural, calicata N°2 estrato 4 y espesor de 30 cm.

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"		
Ensayo:	Compactación de Suelo Usando Próctor Modificado		
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123		
Responsable:	Mauro Baca Noa		
Descripción de Muestra:	Suelo Natural		
Referencia:	MTC E 115 Compactación de Suelos en Laboratorio Utilizando Energía Modificada		
Fecha de Ensayo:	09/02/2023		

MTCE 115. Compactación de Suelo en laboratorio Utilizando una Energía Modificada (Proctor Modificado)

Método de Compactación:	Tipo A	
Díámetro del Molde:	cm.	10.16
Altura del Molde:	cm.	11.62
Volumen del Molde:	cm ³	942.07
Peso del Molde:	gr	3572
N° de Capas:	unid.	5
Golpes por capa:	unid.	25
Molde:		4"

DENSIDAD HUMEDA					
Ensayo	Unidades	1	2	3	4
Peso de Muestra Húmeda + Molde	gr	5533	5588	5616	5588
Peso del Molde	gr	3572	3572	3572	3572
Peso de Muestra Húmeda	gr				
Volumen del Molde	cm ³	942.07	942.07	942.07	942.07
Densidad Húmeda	gr/cm ³	0.000	0.000	0.000	0.000

CONTENIDO DE HUMEDAD									
Nro. De Recipientes	N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso de Muestra Húmeda + Tara	gr	97.79		90.48		69.14		92.16	
Peso de Muestra Seca + Tara	gr	89.93		82.42		61.89		81.7	
Peso del Agua	gr								
Peso de Tara	gr	16.53		19.14		11.87		18.07	
Peso de Muestra Seca	gr								
Contenido de Humedad	%								
Contenido de Humedad Promedio	%								
Densidad Seca	gr/cm ³								
Humedad Óptima CHO	%								
Densidad Seca máxima MDS	gr/cm ³								

Fuente: Elaboración Propia



3.5.7 Índice de Soporte de California CBR en Laboratorio (MTC E 132, ASTM D1883.3)

a) Equipos Utilizados en la Prueba

- ✓ Prensa de penetración y anillo de carga.
- ✓ Molde de 6" similar a la de Proctor modificado
- ✓ Un disco metálico para espaciador.
- ✓ Pisón de masa de 4,54 kg de largo de 45.72 cm.
- ✓ Pesas ranuradas de masa 4.54 kg, con un hueco central.
- ✓ Pistón para penetración de sección de 49.63 mm de diámetro circular.
- ✓ Diales transcurso de 25mm y divisiones de lecturas al 0.025mm.
- ✓ batea para sumergir los moldes.
- ✓ Balanza de 0.01 gr. de precisión.
- ✓ Horno de temperatura de 110°C.
- ✓ Mallas o tamices de 3/4", 3/8" y N°04.
- ✓ Otros, Bandejas espátulas pipeta par el agua entre otros materiales.

b) Procedimiento

- ✓ Luego del tamizado mecánico de la muestra se extra una porción aproximada de 20 kg de suelo para ser pasado por el tamiz o malla de 3/4" y retenido por la malla N°04.
- ✓ Se procede al secado de la muestra en una estufa hasta que la muestra este totalmente seca par luego determinar el porcentaje de agua a ser incrementado en este caso es el porcentaje del contenido de humedad que es de 13.49% por cada muestra de 6kg de suelo para cada molde
- ✓ Se pesa el molde, las dimensiones como la altura y diámetro para determinar el volumen.
- ✓ Se tuvieron tres moldes de CBR para cada ensayo para los diferentes golpes de 12, 25, 56 golpes para diferentes porcentajes de agua en cada molde.
- ✓ Se debe de colocar un papel filtro encima del disco espaciador en la base antes de inicia la compactación de la muestra para colocar en cinco capas el suelo dentro de los moldes.



Figura N°60.- Colocación del filtro para prueba BCR.



Fuente: Propia

- ✓ Luego de la compactación se invierte el molde para retirar el collarín superior del molde y se enraza, para que la superficie este en nivel.
- ✓ Se toma el peso el molde que contiene el suelo compactado.
- ✓ Se coloca las pesas y las sobrecargas.
- ✓ Terminado de compactado de los 3 moldes se deben introducir en un tanque de agua. El nivel de agua debe de tapar el molde de CBR.
- ✓ Para finalmente colocar el trípode del dial par a la medición de la expiación este proceso se realiza en diversas etapas o tiempos dentro de las primeras horas y luego de las 24 horas hasta así llegar al cuarto día de expansión.

Figura N°61.- Sumergido en agua las muestra de CBR.



Fuente: Propia



- ✓ Luego se retira las muestras para finalmente realiza la penetración en cada molde de muestra.

Figura N°62.- Muestra extraída después de los cuatro días.



Fuente: Propia

- ✓ En la máquina de compresión Se toma como dato los esfuerzos a diferentes deformaciones hasta llegar a 0.5", con una velocidad de penetración de 1,27 mm por minuto.

Figura N°63.- Lectura de los diales para CBR.



Fuente: Propia

- ✓ Para suelo congelado se cogió un amuestra de 25 kg. de suelo para ambos métodos de -5 °C y de -10 °C, previamente pasado por la malla 3/4" y retenido en el tamiz N°04, la misma que se utilizó para suelo natural.



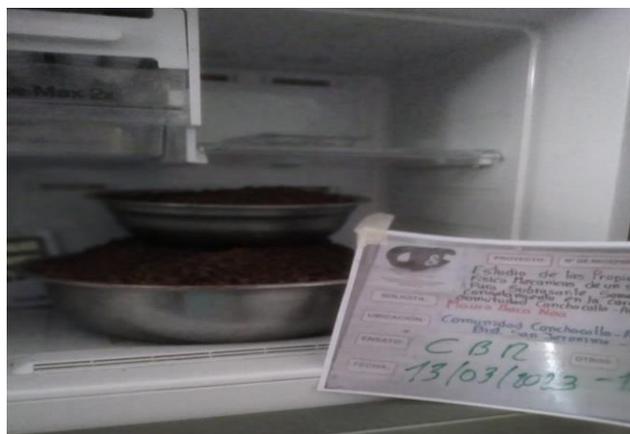
Figura N°64.- Muestra congelada a -5°C , para CBR.



Fuente: Propia

- ✓ Este material se congeló en dos refrigeradoras para evitar la pérdida de tiempos (días) del proceso en diferentes grados de congelamiento -5°C y de -10°C .
- ✓ Para la realización de la prueba del Límite Índice de soporte de California CBR se tomó la muestra el último día de cada proceso transportándolo a laboratorio en la mañana, para la realización del proceso compactación para CBR.

Figura N°65.- Muestra congelada a -10°C para CBR.



Fuente: Propia

- ✓ Luego se desarrolló el mismo proceso del material natural luego de los cinco días para el primer proceso y después de los diez días para el segundo proceso.



3.5.8 Cono de Penetración Dinámica PDC (ASTM D 6351)

a) Equipos Utilizados en la Prueba

- ✓ Mazo de 8 kg
- ✓ Barra guía
- ✓ Punta de cono
- ✓ Escala de medición

b) Procedimiento

- ✓ En un primer instante, la punta del DCP se dirige dentro de la superficie del suelo a ser ensayado, La punta del cono debe penetrar 5 cm en el fondo del agujero, para estar seguro que el cono está completamente empotrado.

Figura N°66.- Colocación del instrumento PDC en el suelo.



Fuente: Propia

- ✓ Luego se levanta el martillo deslizante hasta la manija y se suelta para que caiga libremente hasta golpear el yunque.

Tabla N°50.- Caída del mazo en prueba del PDC.



Fuente: Propia



- ✓ La penetración total para un determinado número de golpes es medida y registrada en términos de milímetros por golpe.

Figura N°67.- Última caída del mazo de la prueba PDC



Fuente: Propia

- ✓ DCP, valor que es utilizado para estimar la resistencia a la penetración del suelo

Figura N°68.- Equipo especializado en la prueba del PDC.



Fuente: Propia



c) Toma de Datos

➤ **Recolección de Datos Para Suelo Natural**

Tabla N°51.- Recolección de Datos para el CBR de Suelo Natural, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48 cm.

Datos del Proctor Modificado		Datos de la Energía de Compactación			Datos del Molde				
Densidad Seca Máxima	1.88	cm ³	Peso del Martillo	4.554	Kg	Diámetro del Molde	15.24	cm	
Contenido de Humedad Óptimo	13.59	%	Altura de Caída del Martillo	45.72	cm	Altura del Molde	17.78	cm	
			Número de Golpes	5		Altura del Disco Espaciador	6.14	cm	
Datos del Equipo de Penetración					Altura de la Muestra			11.64	cm
Constante de Anillo de Carga	1.20E+0.1 +3.3E+00*X +0.00E+00*X ² +0.0E+00*X ³ kg			Área			182.41	cm ²	
Área del Pistón	19.35	cm ²				Volumen	2123.31	cm ³	

MTC E 132. CBR (California Bearing Ratio) de Suelo en laboratorio Utilizando una Energía modificada (Proctor Modificado)

Datos de Ensayo de Compactación							
Muestras		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
Número de Golpes	Unidades	55		26		12	
Ubicación del contenido de humedad		Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Condición de la Muestra		No Satur.	Saturado	No Satur.	Saturado	No Satur.	Saturado
Peso de Capsula	gr	15.01	19.27	16.54	11.65	19.19	16.52
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	gr	71.07	83.14	71.13	67.16	78.57	81.89
Peso de Capsula + Muestra Seca	gr	63.41	73.59	63.49	58.53	70.47	71.27
Peso Agua	gr						
Peso de Muestra Seca	gr						
Contenido de Humedad	%						
Porcentaje de Absorción							

Nombre del Recipiente	N°	1	2	3	4	5	6
Peso del Molde	gr	7390.50		7359.50		7297.00	
Peso del Molde + Muestra Húmeda	gr	11996.5	12116	11848	11987	11570.5	11779
Peso de la Muestra Húmeda	gr						
Peso de la Muestra Seca	gr	3976.64		3860.32		3690.55	
Peso del Agua Absorbida	gr						
Porcentaje de Absorción	%						
Densidad Húmeda	gr/cm ³						
Densidad Seca	gr/cm ³						

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Natural**

Tabla N°52.- Recolección de Datos para la Expansión del CBR de Suelo Natural, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48 cm.

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO									
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
Título de Tesis:		"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"									
Ensayo:		Expansión con Muestra de CBR									
Ubicación:		km 14.650 de la carretera CU-123									
Responsable:		Mauro Baca Noa									
Descripción de Muestra:		Suelo Natural									
Referencia:		MTC E 132 CBR de Suelos									
Fecha de Ensayo:		17/02/2023									
<u>Expansión con Muestra de CBR</u>											
Tiempo Acumulado			Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3				
			Dial * 0.001"	Hinchamiento		Dial * 0.001"	Hinchamiento		Dial * 0.001"	Hinchamiento	
Días	Horas	Minutos		(mm)	%		(mm)	%		(mm)	%
0	0	0.0	0	0		0	0		0	0	
0.0625	1	60.0	4	0.102		4.5	0.114		8	0.203	
0.125	3	180.0	7.5	0.191		7.5	0.191		13.8	0.321	
0.25	6	360.0	12.5	0.318		17	0.432		25	0.635	
0.5	12	720.0	18	0.457		23	0.584		32	0.813	
1	24	1440.0	40	1.016		42	1.067		45.5	1.156	
2	48	2880.0	47.5	1.207		52.5	1.334		59	1.499	
4	96	5760.0	52	1.321		58	1.473		66.5	1.689	

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos de Penetración Para Suelo Natural**

Tabla N°53.- Recolección de Datos para la Penetración del CBR de Suelo Natural, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48 cm.

Penetración		Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
		55 Golpes			26 Golpes			12 Golpes		
(mm)	pulg	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)
0.00	0.000	0	0.00		0	0.00		0	0.00	
0.63	0.025	6	31.76		5	28.46		4	25.16	
1.27	0.050	13	54.85		12	51.55		10	44.95	
1.91	0.075	20	77.93		18	71.34		16	64.74	
2.54	0.100	27	101.02		24	91.13		21	81.23	
3.17	0.125	32	117.52		29	107.62		25	94.43	
3.81	0.150	37	134.01		33	120.81		29	107.62	
5.08	0.200	45	160.39		40	143.90		35	127.41	
7.62	0.300	62	216.47		52	183.48		43	153.80	
10.16	0.400	76	262.65		61	213.17		51	180.19	
12.70	0.500	91	312.12		74	256.05		58	203.27	

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C**

Tabla N°54.- Recolección de Datos para el CBR de Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C, calicata N°2 estrato 4 y espesor de 30 cm.

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA						
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
Título de Tesis:		"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"						
Ensayo:		Ensayo de CBR Usando Proctor Modificado						
Ubicación:		km 14.650 de la carretera CU-123						
Responsable:		Mauro Baca Noa						
Descripción de Muestra:		Suelo Congelado a Temperatura a -5 °C						
Referencia:		MTC E 132 CBR de Suelos						
Fecha de Ensayo:		26/03/2023						
MTC E 132, CBR (California Bearnia Ratio) de Suelo en laboratorio Utilizando una Energía modificada (Proctor Modificado)								
Datos del Proctor Modificado			Datos de la Energía de Compactación			Datos del Molde		
Densidad Seca Máxima	1.88	cm3	Peso del Martillo	4.554	Kg	Diámetro del Molde	15.26	cm
Contenido de Humedad Óptimo	13.59	%	Altura de Caída del Martillo	45.72	cm	Altura del Molde	17.79	cm
			Número de Golpes	5		Altura del Disco Espaciador	6.14	cm
Datos del Equipo de Penetración						Altura de la Muestra	11.66	cm
Constante de Anillo de Carga	1.20E+01 +3.3E+00*X +0.00E+00*X2 +0.0E+00*X3 kg					Área	182.41	cm2
Área del Pistón	19.35	cm2				Volumen	2132.54	cm3
Datos de Ensayo de Compactación								
Muestras			Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
Número de Golpes		Unidades	55		26		12	
Ubicación del contenido de humedad			Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Condición de la Muestra			No Satur.	Saturado	No Satur.	Saturado	No Satur.	Saturado
Peso de Capsula		gr	15.15	20.05	16.35	11.25	19.05	16.35
Peso de Capsula + Muestra Húmeda		gr	71.95	83.81	73.83	68.75	79.18	82.55
Peso de Capsula + Muestra Seca		gr	63.65	74.01	65.21	59.4	69.96	71.37
Peso Agua		gr						
Peso de Muestra Seca		gr						
Contenido de Humedad		%						
Porcentaje de Absorción								
Nombre del Recipiente		N°	1	2	3	4	5	6
Peso del Molde		gr	7358.50		7360.59		7298.50	
Peso del Molde + Muestra Húmeda		gr	12150.56	12247.85	12097.25	12235.98	11795.5	11992.45
Peso de la Muestra Húmeda		gr						
Peso de la Muestra Seca		gr	3975.26		3862.65		3691.25	
Peso del Agua Absorbida		gr						
Porcentaje de Absorción		%						
Densidad Húmeda		gr/cm3						
Densidad Seca		gr/cm3						

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C**

Tabla N°55.- Recolección de Datos para la Expansión del CBR de Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48 cm.

 Universidad Andina del Cusco		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
Título de Tesis:		"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"									
Ensayo:		Expansión con Muestra de CBR									
Ubicación:		km 14.650 de la carretera CU-123									
Responsable:		Mauro Baca Noa									
Descripción de Muestra:		Suelo Congelado a temperatura de -5 °C									
Referencia:		MTC E 132 CBR de Suelos									
Fecha de Ensayo:		10/03/2023									
<u>Expansión con Muestra de CBR</u>											
Tiempo Acumulado			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
			Dial * 0.001"	Hinchamiento		Dial * 0.001"	Hinchamiento		Dial * 0.001"	Hinchamiento	
Días	Horas	Minutos		(mm)	%		(mm)	%		(mm)	%
0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0		
0.0625	1	30.00	4.5	0.106	5	0.124	8.5	0.233			
0.125	3	0.00	6.5	0.205	7.5	0.225	14.5	0.451			
0.25	6	0.00	13.5	0.358	17	0.482	26	0.715			
0.5	12	0.00	19	0.477	23	0.645	35	0.925			
1	24	0.00	39	1.036	42	1.127	48.2	1.246			
2	48	0.00	48.5	1.257	52.5	1.369	62.5	1.502			
4	96	0.00	55	1.331	58	1.563	68	1.728			

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C**

Tabla N°56.- Recolección de Datos para la Penetración del CBR de Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48 cm.

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO								
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA								
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL								
Título de Tesis:		"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"								
Ensayo:		De Carga Penetración con Muestra de CBR								
Ubicación:		km 14.650 de la carretera CU-123								
Responsable:		Mauro Baca Noa								
Descripción de Muestra:		Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C								
Referencia:		MTC E 132 CBR de Suelos								
Fecha de Ensayo:		10/03/2023								
<u>Ensayo de Carga Penetración con Muestra de CBR</u>										
Penetración		Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
		55 Golpes			26 Golpes			12 Golpes		
(mm)	pulg	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)
0.00	0.000	0	0.00		0	0.00		0	0.00	
0.63	0.025	5	30.45		4	27.48		3	23.85	
1.27	0.050	12	52.58		11	50.46		8	42.51	
1.91	0.075	19	76.83		17	69.75		15	62.49	
2.54	0.100	25	99.58		22	89.78		19	79.85	
3.17	0.125	31	116.25		27	105.85		23	92.89	
3.81	0.150	35	132.58		32	117.96		27	105.89	
5.08	0.200	43	159.86		38	142.92		34	125.49	
7.62	0.300	61	215.45		51	182.15		44	152.45	
10.16	0.400	75	261.75		59	211.52		49	178.56	
12.70	0.500	89	309.42		72	254.62		55	201.11	

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C**

Tabla N°57.- Recolección de Datos para el CBR de Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48 cm.

Datos del Proctor Modificado		Datos de la Energía de Compactación			Datos del Molde			
Densidad Seca Máxima	1.88	cm ³	Peso del Martillo	4.554	Kg	Diámetro del Molde	15.26	cm
Contenido de Humedad Óptimo	13.59	%	Altura de Caída del Martillo	45.72	cm	Altura del Molde	17.79	cm
			Número de Golpes	5		Altura del Disco Espaciador	6.14	cm
Datos del Equipo de Penetración						Altura de la Muestra	11.66	cm
Constante de Anillo de Carga	1.20E+01 +3.3E+00*X +0.00E+00*X ² +0.0E+00*X ³ kg					Área	182.41	cm ²
Área del Pistón	19.35	cm ²				Volumen	2132.54	cm ³

MTCE E 132, CBR (California Bearnia Ratio) de Suelo en laboratorio Utilizando una Energía modificada (Proctor Modificado)

Datos de Ensayo de Compactación							
Muestras		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
Número de Golpes	Unidades	55		26		12	
Ubicación del contenido de humedad		Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Condición de la Muestra		No Satur.	Saturado	No Satur.	Saturado	No Satur.	Saturado
Peso de Capsula	gr	15.95	20.25	16.45	11.05	19.35	16.05
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	gr	73.85	84.51	73.23	68.75	79.58	83.95
Peso de Capsula + Muestra Seca	gr	64.98	74.01	64.21	58.4	68.96	70.37
Peso Agua	gr						
Peso de Muestra Seca	gr						
Contenido de Humedad	%						
Porcentaje de Absorción							

Nombre del Recipiente	N°	1	2	3	4	5	6
Peso del Molde	gr	7358.50		7360.45		7298.50	
Peso del Molde + Muestra Húmeda	gr	12255.3	12417.45	12185.45	12465.55	12005.25	12275.78
Peso de la Muestra Húmeda	gr						
Peso de la Muestra Seca	gr	3974.16		3863.56		3692.45	
Peso del Agua Absorbida	gr						
Porcentaje de Absorción	%						
Densidad Húmeda	gr/cm ³						
Densidad Seca	gr/cm ³						

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C**

Tabla N°58.- Recolección de Datos para la Expansión del CBR de Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48 cm.

 Universidad Andina del Cusco		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
Título de Tesis:		"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"									
Ensayo:		Expansión con Muestra de CBR									
Ubicación:		km 14.650 de la carretera CU-123									
Responsable:		Mauro Baca Noa									
Descripción de Muestra:		Suelo Congelado a temperatura de -10 °C									
Referencia:		MTC E 132 CBR de Suelos									
Fecha de Ensayo:		01/04/2023									
<u>Expansión con Muestra de CBR</u>											
Tiempo Acumulado			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
			Dial * 0.001"	Hinchamiento		Dial * 0.001"	Hinchamiento		Dial * 0.001"	Hinchamiento	
Días	Horas	Minutos		(mm)	%		(mm)	%		(mm)	%
0	0	0.00	0	0		0	0		0	0	
0.0625	1	30.00	5	0.145		5.9	0.154		9.2	0.253	
0.125	3	0.00	7.4	0.255		8.5	0.345		17.5	0.481	
0.25	6	0.00	14.2	0.389		18.2	0.482		28.2	0.855	
0.5	12	0.00	20.5	0.698		15.4	0.845		38.2	1.205	
1	24	0.00	41.5	1.175		45.2	1.246		52.4	1.446	
2	48	0.00	51.2	1.305		57.2	1.452		68.4	1.682	
4	96	0.00	60.4	1.379		64.2	1.604		70.4	1.818	

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C**

Tabla N°59.- Recolección de Datos para la Penetración del CBR de Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48 cm.

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 										
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"									
Ensayo:	De Carga Penetración con Muestra de CBR									
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123									
Responsable:	Mauro Baca Noa									
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C									
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos									
Fecha de Ensayo:	01/04/2023									
Ensayo de Carga Penetración con Muestra de CBR										
Penetración		Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
		55 Golpes			26 Golpes			12 Golpes		
(mm)	pulg	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.000	0	0.00		0	0.00		0	0.00	
0.63	0.025	4	28.97		3	25.89		2	21.56	
1.27	0.050	11	51.24		10	49.56		7	40.12	
1.91	0.075	17	75.15		15	67.45		13	60.45	
2.54	0.100	13	98.25		20	87.56		18	77.85	
3.17	0.125	29	115.01		25	104.23		22	91.46	
3.81	0.150	33	130.89		31	115.89		25	103.89	
5.08	0.200	42	158.12		37	139.87		31	124.20	
7.62	0.300	60	213.87		49	180.76		39	151.25	
10.16	0.400	73	260.74		56	210.12		42	177.14	
12.70	0.500	87	308.06		69	252.49		51	200.04	

Fuente: Elaboración Propia

3.5.8 Compresión No Confinada para la Cohesión (MTC E 121, ASTM D2166)

a) Equipos Utilizados en la Prueba

- ✓ Balanzas sensibilidad y de precisión de 0.01 gr.
- ✓ Calibrador o vernier para medir el diámetro de la probeta
- ✓ Molde cilíndrico para la probeta.
- ✓ Horno de secado de temperatura de 110 °C.



- ✓ Máquina para compresión no confinada mecánica
- ✓ Un cuchillo espátula y otros materiales para moldear la muestra

b) Procedimiento

- ✓ Se extrae la muestra en situó de medidas de 25 cm por 25 cm de forma un cubo para el traslado a laboratorio conservando la humedad natural de la muestra extraída.
- ✓ Se perfecciona la muestra para la probeta, de forma cilíndrica, con medidas: diámetro 5.37cm y una altura de 13.77cm. se mide con el vernier.

Figura N°69.- Extracción de la Muestra para Compresión Simple calicata N°2.



Fuente: Propia

Se extrajo la muestra de una arista entre 35 cm y 45 cm para la compresión simple de la calicata N°2, km 14.650 a una profundidad de 80 cm estando en el estrato dos de un espesor de 48 cm

- ✓ Se toma el peso de la probeta tallada de 5 cm de diámetro y de 10 cm de altura promedio para determinar su contenido de humedad.

Figura N°70.- Tallado de la muestra para compresión no confinada.



Fuente: Propia



- ✓ En la máquina de compresión no confinada se coloca la probeta centrada. Se procede con el mecanismo de rotura por la lectura de los diales.
- ✓ Se coloca el deformímetro en cero, se aplica la carga para la deformación axial, se registra la carga y la deformación en función al tiempo.
- ✓ Del medio de la deformación se toma una muestra en la capsula para el contenido de humedad determina su humedad.
- ✓ Las muestras tomadas se colocan en el horno de secado para determinar su humedad natural.

Figura N°71.- Lectura de los diales en Compresión Simple.



Fuente: Propia

- ✓ Para suelo congelado se cogió el mismo cubo del suelo natural, para ambos métodos de -5°C y de -10°C .
- ✓ Este material se congelo en dos refrigeradoras para evitar la pérdida de tiempos (días) del proceso en diferentes grados de congelamiento -5°C y de -10°C .

Figura N°72.- Muestra congelada a -5°C para Compresión No Confinada.

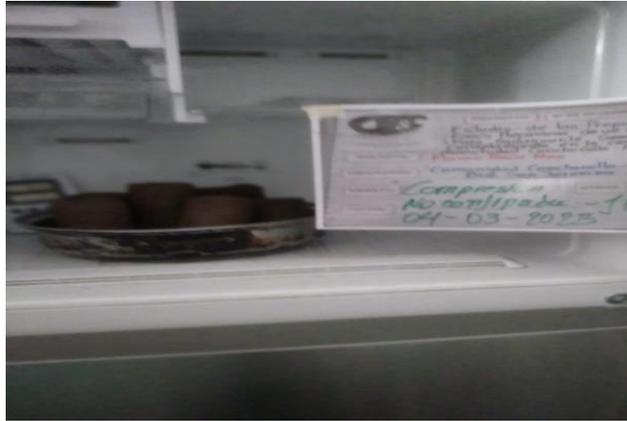


Fuente: Propia



- ✓ Para la realización de la prueba del Compresión no Confinada se tomó la muestra el último día de cada proceso transportándolo a laboratorio paso el medio día.

Figura N°73.- Muestra congelada a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ para Compresión no Confinada



Fuente: Propia

- ✓ Luego se desarrolló el mismo proceso del material natural luego de los cinco días para el primer proceso y después de los diez días para el segundo proceso.

c) Toma de Datos

- **Recolección de Datos Para Suelo Natural**



Tabla N°60.- Recolección de Datos para Compresión No Confinada de Suelo Natural, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.

 							
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"						
Ensayo:	Compresión No Confinada						
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123						
Responsable:	Mauro Baca Noa						
Descripción de Muestra:	Suelo natural						
Referencia:	MTC E 121 Compresión No Confinada						
Fecha de Ensayo:	15/02/2023						
Ensayo de Compresión No Confinada							
Dimensiones de la muestra							
Diámetro	50.20	mm					
Altura Lo	104.6	mm					
Área	19.79	cm ²					
Volumen	207.03	cm ³					
Dimensiones de la muestra							
Peso	405.96	gr					
Peso Unitario Húmedo	1.96	gr/cm ³					
Contenido de Humedad	13.62	%					
Peso Unitario Seco	1.73	gr/cm ³					
Caracterización Inicial de la Muestra							
Deformímetro de Longitud	Deformímetro de Carga	Carga total Sobre la Muestra	Deformímetro de la Muestra ΔL	Deformación Unitaria ΔL/L0	Factor de Corrección de Área (1-ΔL) / L0	Área Corregida A'	Esfuerzo Sobre la Muestra
	M-01	M-01					M-01
*0.01 mm	*0.419 kg	kg	mm			cm ²	kg/cm ²
10	5	2.09					
20	7	2.93					
30	9	3.77					
40	10	4.19					
50	11	4.60					
60	13	5.44					
70	16	6.70					
80	19	7.95					
90	21	8.79					
100	25	10.46					
125	31	12.98					
150	33	13.81					
175	35	14.65					
200	40	16.74					
250	49	20.51					
300	55	23.02					
350	59	24.70					
400	65	27.21					
450	70	29.30					
500	75	31.39					
600	82	34.32					
700	88	36.83					
800	92	38.51					
900	93	38.93					
1000	92	38.51					
1100	92	38.51					
1200	92	38.51					

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C**

Tabla N°61.- Recolección de Dato para Compresión No Confinada de Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"	
Ensayo:	Compresión No Confinada	
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123	
Responsable:	Mauro Baca Noa	
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C	
Referencia:	MTC E 121 Compresión No Confinada	
Fecha de Ensayo:	08/03/2023	

Ensayo de Compresión No Confinada

Dimensiones de la muestra			Dimensiones de la muestra		
Diámetro	50.70	mm	Peso	403.19	gr
Altura Lo	101.5	mm	Peso Unitario Húmedo	1.97	gr/cm ³
Área	20.19	cm ²	Contenido de Humedad	13.62	%
Volumen	204.91	cm ³	Peso Unitario Seco	1.73	gr/cm ³

Caracterización Inicial de la Muestra							
Deformímetro de Longitud	Deformímetro de Carga	Carga total Sobre la Muestra	Deformímetro de la Muestra Δ L	Deformación Unitaria Δ L/L0	Factor de Corrección de Área (1-Δ L) / L0	Área Correjada A'	Esfuerzo Sobre la Muestra
	M-01	M-01					M-01
*0.01 mm	*0.419 kg	kg	mm			cm ²	kg/cm ²
10	10	4.19					
20	13	5.44					
30	19	7.95					
40	21	8.79					
50	23	9.63					
60	27	11.30					
70	29	12.14					
80	33	13.81					
90	37	15.49					
100	43	18.00					
125	48	20.09					
150	53	22.18					
175	61	25.53					
200	66	27.63					
250	70	29.30					
300	74	30.97					
350	74	30.97					
400	75	31.39					
450	75	31.39					
500	73	30.56					
600	68	28.46					
700	58	24.46					
800	47	19.67					
900	38	15.91					
1000	31	12.98					
1100	31	12.98					
1200	30	12.56					

Fuente: Elaboración Propia



➤ **Recolección de Datos Para Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C**

Tabla N°62.- Recolección de Dato para Compresión No Confinada de Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C, calicata N°2 estrato 2 y espesor de 48cm.

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"						
Ensayo:	Compresión No Confinada						
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123						
Responsable:	Mauro Baca Noa						
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C						
Referencia:	MTC E 121 Compresión No Confinada						
Fecha de Ensayo:	29/03/2023						
Ensayo de Compresión No Confinada							
Dimensiones de la muestra							
Diámetro	52.05	mm					
Altura Lo	103.2	mm					
Área	21.28	cm ²					
Volumen	219.59	cm ³					
Dimensiones de la muestra							
Peso	410.76	gr					
Peso Unitario Húmedo	1.87	gr/cm ³					
Contenido de Humedad	13.62	%					
Peso Unitario Seco	1.65	gr/cm ³					
Caracterización Inicial de la Muestra							
Deformímetro de Longitud	Deformímetro de Carga	Carga total Sobre la Muestra	Deformímetro de la Muestra ΔL	Deformación Unitaria ΔL/L0	Factor de Corrección de Área (1-ΔL) / L0	Área Corregida A'	Esfuerzo Sobre la Muestra
	M-01	M-01					M-01
*0.01 mm	*0.419 kg	kg	mm			cm ²	kg/cm ²
10	11	4.59					
20	21	8.76					
30	24	10.02					
40	28	11.68					
50	33	13.77					
60	37	15.44					
70	42	17.53					
80	45	18.78					
90	49	20.45					
100	50	21.70					
125	59	24.62					
150	60	27.96					
175	61	31.30					
200	64	33.38					
250	65	38.39					
300	66	42.56					
350	67	45.90					
400	69	47.57					
450	63	51.74					
500	65	53.41					
600	69	54.67					
700	70	45.48					
800	70	40.48					
900	72	37.14					
1000	74	32.97					
1100	74	30.88					
1200	74	30.88					

Fuente: Elaboración Propia



3.6. Procedimientos de Análisis de Datos

3.6.1 Determinación de la Estratificación de Suelo

a) Procesamiento o Cálculos de la Prueba

- De las calicatas se procede a excavar y a tomar muestras de la estratigrafía de cada calicata.
- Se tomó muestra a inspección visual y de tacto par su clasificación del tipo de conglomerado a la que pertenece da nivel de la calicata.
- Se encontró suelos arcillosos y arenosos y conglomerados de ambos en forma de terrones de muestras las cuales de aprecian en el peso específico de las muestras.

b) Diagramas, Tablas

Tabla N°63.- Estratos de la calicata N°-01, progresiva km 15.310

<u>Estratificación y Muestreo de Calicatas N°01</u>					
Coordenadas UTM Progresiva de Calicata-01		E: 191701.97 N: 8492656.82 15.310 km		Z: 3957 msnm	
Profundidad (m)	Punto de Extracción	Estrato (m)	Símbolo	In Situ	Clasificación SUCS
0.00	Calicata N°-01	Estrat.01 (0.00-0.22)		Relleno Organico y Desechos Inorganicos	
0.10		Estrat. 02 (0.22 - 0.83)		precencia de material compactada (piedra)	GP (brava mal Graduada)
0.20					
0.40		Estrat. 03 (0.83 - 1.20)		suelo denso de color rojizo	GC (grava arcillosa)
0.60					
0.80	Estrat. 04 (1.20 - 1.55)		Material no homogenio graboso color negrusco marron	SC (arena arcillosa)	
1.00					
1.20					
1.40					
1.60					

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°64.- Estratos de la calicata N°-02, progresiva km 14.650

<u>Estratificación y Muestreo de Calicatas N°02</u>					
Coordenadas UTM Progresiva de Calicata-02		E: 191802.24 14.650 km	N: 8492802.87	Z: 3907 msnm	
Profundidad (m)	Punto de Extracción	Estrato (m)	Símbolo	In Situ	Clasificación SUCS
0.00	Calicata N°-02	Estrat.01 (0.00-0.35)		Relleno Organico y Desechos Inorganicos	
0.10		Estrat. 02 (0.35 - 0.83)		Material arcillos que se fractura muy rapido al secarse	CL (arcilla inorganica de baja plasticidad)
0.20		Estrat. 03 (0.83 - 1.20)		Material no homogenio graboso color negrusco marron	SC (arena arcillosa)
0.40		Estrat. 04 (1.20 - 1.50)		Precencia de material brillante en la arcilla como cristales de minerales	OL (limo organico o arcilla de baja plasticidad)
0.60					
0.80					
1.00					
1.20					
1.40					
1.60					

Fuente: Elaboración Propia

c) Análisis de la Prueba

Tabla N°65.- Estratos de la calicata N°-03, progresiva km 14.125

<u>Estratificación y Muestreo de Calicatas N°03</u>					
Coordenadas UTM Progresiva de Calicata-03		E: 191737.27 14.125 km	N: 8493126.82	Z: 3883 msnm	
Profundidad (m)	Punto de Extracción	Estrato (m)	Símbolo	In Situ	Clasificación SUCS
0.00	Calicata N°-03	Estrat.01 (0.00-0.20)		Relleno Organico y Desechos Inorganicos	
0.10		Estrat. 02 (0.20 - 0.85)		Matrial con aparente forma de arcilla quebradiza al cojerlo	CL (arcilla inorganica de baja plasticidad)
0.20		Estrat. 03 (0.85 - 1.25)		Material no homogenio graboso color negrusco marron	SC (arena arcillosa)
0.40		Estrat. 04 (1.25 - 1.45)		Material homogeneo fino color marron	ML (limo horganico de baja plasticidad)
0.60					
0.80					
1.00					
1.20					
1.40					
1.60					

Fuente: Elaboración Propia



3.6.2 Determinación de la Granulometría del Suelo

a) Procesamiento o Cálculos de la Prueba

El proceso de cálculo de la granulometría por tamizado se procedió de la siguiente manera utilizando las siguientes formulas:

- Se calcula el porcentaje de muestra que pasa por el tamiz de N.º 200 de la siguiente forma.

$$\% \text{ pasa N}^\circ 200 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido en el tamiz N}^\circ 200}{\text{Peso Total}} * 100$$

- Se calcula el retenido sobre cada tamiz en porcentaje de la siguiente forma:

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el tamiz}}{\text{Peso Total}} * 100$$

- Se realiza la corrección de cada porción retenida proporcionalmente con el porcentaje obtenido.
- Se acumula los pesos retenidos con el peso inmediato consecutivo para cada tamiz.
- Se calcula el porcentaje de muestra fina. Restando en forma acumulativa de 100 % de los retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

Para los Coeficiente de Uniformidad (Cu) y el de Concavidad (Cc) se utiliza las siguientes formulas

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$
$$C_c = \frac{D_{60}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Donde:

D_{10} = diámetro de abertura, 10 % de la muestra pasa

D_{30} = diámetro de abertura, 30 % de la muestra pasa

D_{60} = diámetro de abertura, 60 % de la muestra pasa



b) Diagramas, Tablas

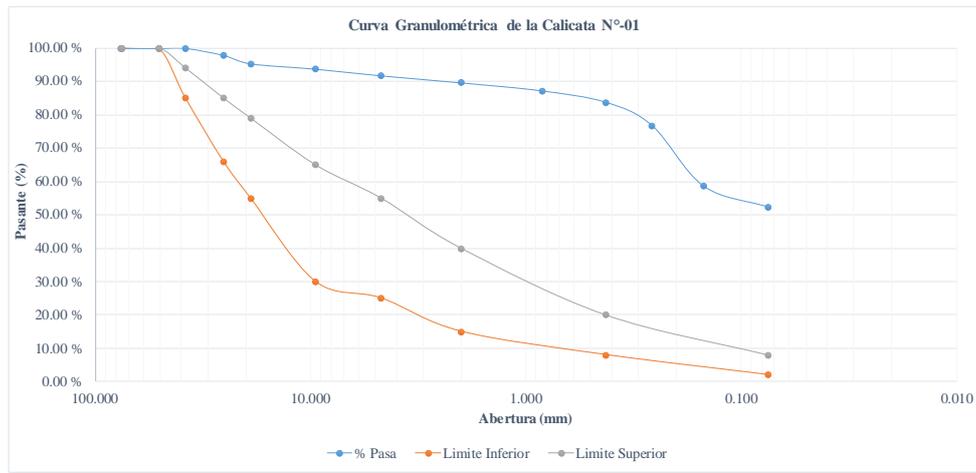
Tabla N°66.- Granulometría de Calicata N°-01, progresiva km 14.125.

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"					
Ensayo:	Análisis Granulométrico del Suelo por Tamizado					
Ubicación:	km 14.125 de la carretera CU-123					
Responsable:	Mauro Baca Noa					
Descripción de Muestra:	Calicata N°-01 Extremo inferior					
Referencia	MTC E 107 Análisis Granulométrico de Suelos por tamizado					
Fecha de Ensayo:	06/02/2023					
MTC E 107, Análisis Granulométrico de Suelo por Tamizado						
Peso de la Muestra Seca:	gr.	1219.52	% Grava	8.24		
Peso de Muestra lavada:	gr.	611.05	% Arena	39.45		
Perdida por Lavado:	gr.	607.47	% Finos	52.31		
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Corregido	% Retenido	Acumulado	
					% Retenido	% Pasa
3"	76.200					100.00
2"	50.800					100.00
1 1/2"	38.100			0.00	0.00	100.00
1"	25.400	25.60	25.70	2.11	2.11	97.89
3/4"	19.000	30.64	30.74	2.52	4.63	95.37
3/8"	9.500	19.44	19.54	1.60	6.23	93.77
N° 4	4.700	24.39	24.49	2.01	8.24	91.76
N° 8	2.000	25.70	25.80	2.12	10.35	89.65
N° 16	0.840	29.30	29.40	2.41	12.77	87.23
N° 30	0.425	41.73	41.83	3.43	16.20	83.80
N° 50	0.260	84.90	85.00	6.97	23.17	76.83
N° 100	0.150	221.77	221.87	18.19	41.36	58.64
N° 200	0.075	77.15	77.25	6.33	47.69	52.31
Fondo + suelo Lavado		637.78	637.88	52.31	100.00	0.00
fondo		30.31				
TOTAL		1218.40	1219.52			
Tamaño máximo Absoluto:	1"		D10 (mm)			
Tamaño máximo Nominal:	3/4"		D30 (mm)			
			D60 (mm)	0.159		
Cu =						
Cc =						

Fuente: Elaboración Propia

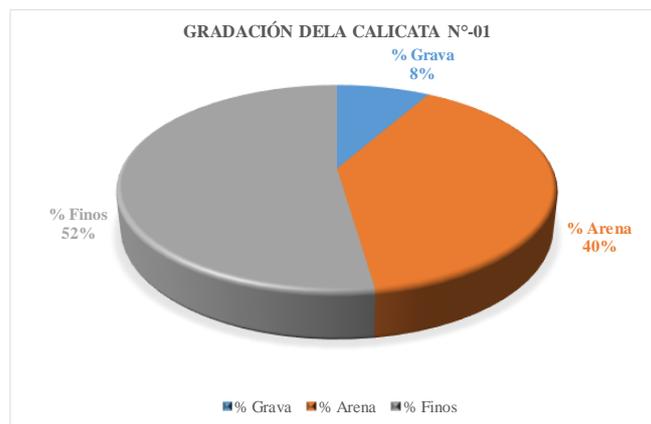


Figura N°74.- Curva Granulométrica de Calicata N°-01 progresiva km 14.125.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N°75.- Gradación de la calicata N°-01 progresiva km 14.125.



Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°67.- Granulometría de la calicata N°-02, progresiva km 14.650

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"					
Ensayo:	Análisis Granulométrico del Suelo por Tamizado					
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123					
Responsable:	Mauro Baca Noa					
Descripción de Muestra:	Calicata N°-02 medio					
Referencia	MTC E 107 Análisis Granulométrico de Suelos por tamizado					
Fecha de Ensayo:	06/02/2023					
MTC E 107, Análisis Granulométrico de Suelo por Tamizado						
Peso de la Muestra Seca:	gr.	1193.9	% Grava	9.41 %		
Peso de Muestra lavada:	gr.	452.52	% Arena	28.34 %		
Perdida por Lavado:	gr.	741.38	% Finos	62.25 %		
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Corregido	% Retenido	Acumulado	
					% Retenido	% Pasa
3"	75.000					100.00
2"	50.800					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	20.66	20.68	1.73	1.73	98.27
3/8"	9.500	39.37	39.39	3.30	5.03	94.97
N° 4	4.700	52.24	52.26	4.38	9.41	90.59
N° 10	2.000	61.32	61.34	5.14	14.55	85.45
N° 20	0.840	60.77	60.79	5.09	19.64	80.36
N° 40	0.425	62.22	62.24	5.21	24.85	75.15
N° 60	0.260	40.35	40.37	3.38	28.23	71.77
N° 140	0.106	83.40	83.42	6.99	35.22	64.78
N° 200	0.075	30.16	30.18	2.53	37.75	62.25
Fondo + suelo Lavado		743.19	743.21	62.25	100.00	0.00
fondo		1.81				
TOTAL		1193.68	1193.90			
Tamaño máximo Absoluto:	1"			D10 (mm)		
Tamaño máximo Nominal:	3/8"			D30 (mm)		
				D60 (mm)		-0.009
Cu =						
Cc =						

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°76.- Curva granulométrica de la calicata N°-02, progresiva km 14.650

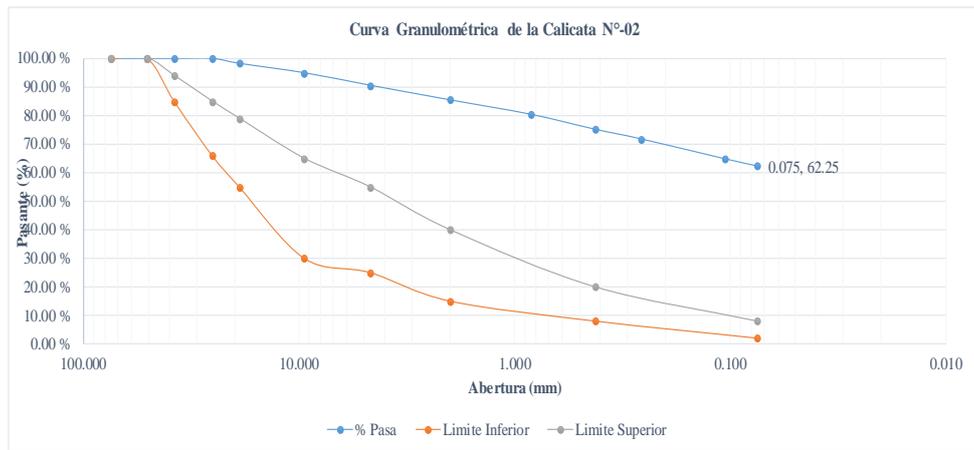


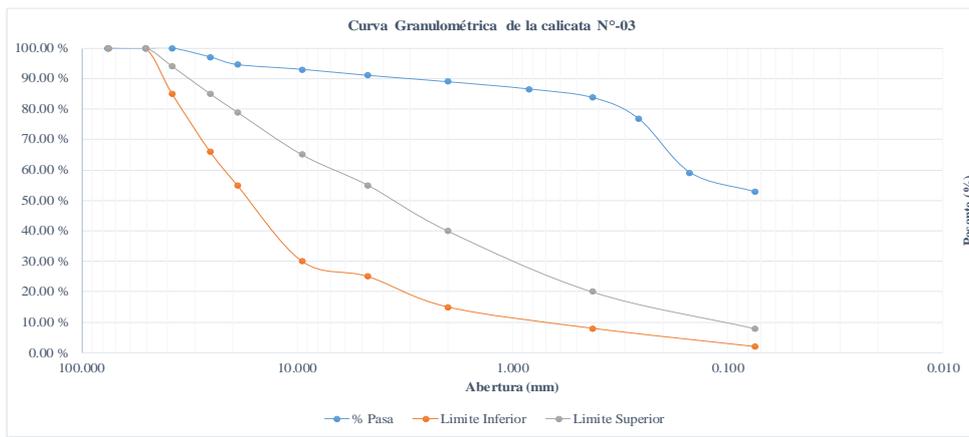


Tabla N°68.- Granulometría de la calicata N°-03, progresiva km 15.310

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"					
Ensayo:	Análisis Granulométrico del Suelo por Tamizado					
Ubicación:	km 15.310 de la carretera CU-123					
Responsable:	Mauro Baca Noa					
Descripción de Muestra:	Calicata N°-03 Extremo superior					
Referencia	MTC E 107 Análisis Granulométrico de Suelos por tamizado					
Fecha de Ensayo:	06/02/2023					
<u>MTC E 107. Análisis Granulométrico de Suelo por Tamizado</u>						
Peso de la Muestra Seca:	gr.	1217.52	% Grava	8.95		
Peso de Muestra lavada:	gr.	611.05	% Arena	38.27		
Perdida por Lavado:	gr.	607.47	% Finos	52.77		
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Corregido	% Retenido	Acumulado	
					% Retenido	% Pasa
3"	76.200					100.00
2"	50.800					100.00
1 1/2"	38.100			0.00	0.00	100.00
1"	25.400	35.60	35.34	2.90	2.90	97.10
3/4"	19.000	30.64	30.38	2.50	5.40	94.60
3/8"	9.500	19.44	19.18	1.58	6.97	93.03
N° 4	4.700	24.39	24.13	1.98	8.95	91.05
N° 8	2.000	25.70	25.44	2.09	11.04	88.96
N° 16	0.840	29.30	29.04	2.39	13.43	86.57
N° 30	0.425	34.73	34.47	2.83	16.26	83.74
N° 50	0.260	84.90	84.64	6.95	23.21	76.79
N° 100	0.150	215.77	215.51	17.70	40.91	59.09
N° 200	0.075	77.15	76.89	6.32	47.23	52.77
Fondo + suelo Lavado		642.78	642.52	52.77	100.00	0.00
fondo		35.31				
TOTAL		1220.40	1217.52			
Tamaño máximo Absoluto:	1"			D10 (mm)		
Tamaño máximo Nominal:	3/4"			D30 (mm)		
				D60 (mm)	0.156	
Cu =						
Cc =						

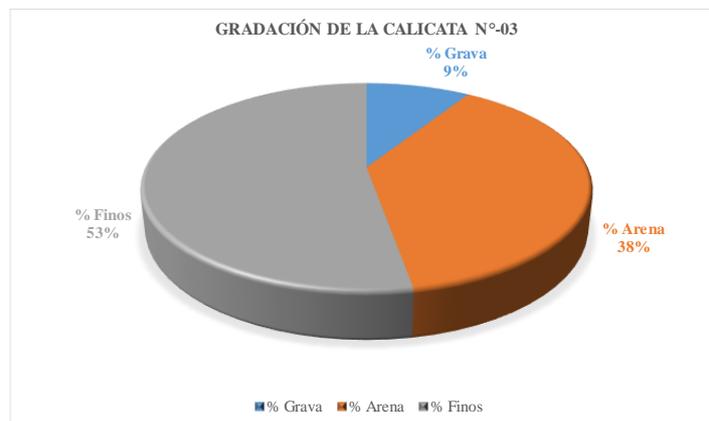
Fuente: Elaboración Propia

Figura N°78.- Curva granulometría de la calicata N-03, progresiva km 15.310



Fuente: Elaboración Propia

Figura N°79.- Gradación de la calicata N°-03, progresiva km 14.125



Fuente: Elaboración Propia

3.6.3 Determinación del Peso Específico

a) Procesamiento o Cálculos de la Prueba

Se determina el peso específico mediante la siguiente fórmula

$$\gamma_s = \frac{W_s}{W_s + W_{pw} - W_{psw}}$$

Donde:

γ_s = peso específico del suelo

W_s = peso del suelo

W_{pw} = peso del picnómetro + agua

W_{psw} = peso del picnómetro + suelo + agua



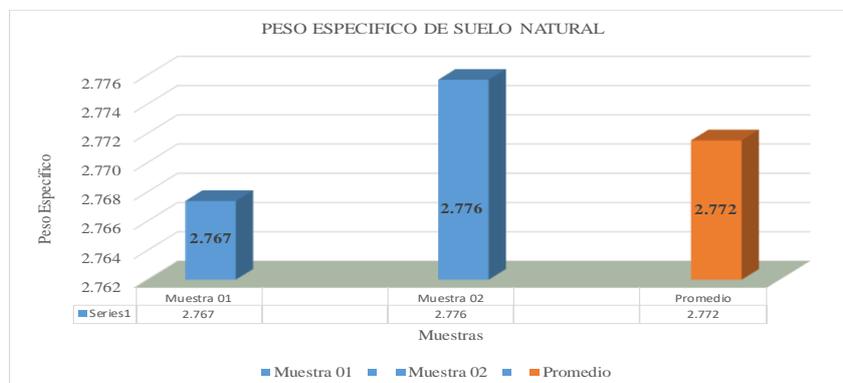
b) Diagramas, Tablas

Tabla N°69.- Peso Específico de Suelo Natural

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Peso Específico Mediante Picnómetro de Agua			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo en Condiciones Naturales			
Referencia:	MTC E 113 Determinación del Peso Específico mediante Picnómetro de Agua			
Fecha de Ensayo:	03/02/2023			
<u>Peso Específico MTC E 113, Basado en la Norma ASTM D-</u>				
Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Capacidad del Picnómetro	cm ³	500	500	
Peso del suelo seco	gr	270.13	271.05	
Peso del frasco + peso del suelo + peso del agua	gr	838.25	839.04	
Temperatura	°C	16	16	
Peso del Frasco + peso del agua	gr	665.87	665.78	
Corrección por Temperatura	K	1.0014134	1.0014134	
Peso Específico Relativo del Suelo	Gs	2.767	2.776	
Peso Específico	Gs	2.772		
Peso Específico		2.772	g/cm ³	

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°80.- Grafica de Peso Específico Promedio de Suelo Natural



Fuente: Elaboración Propia



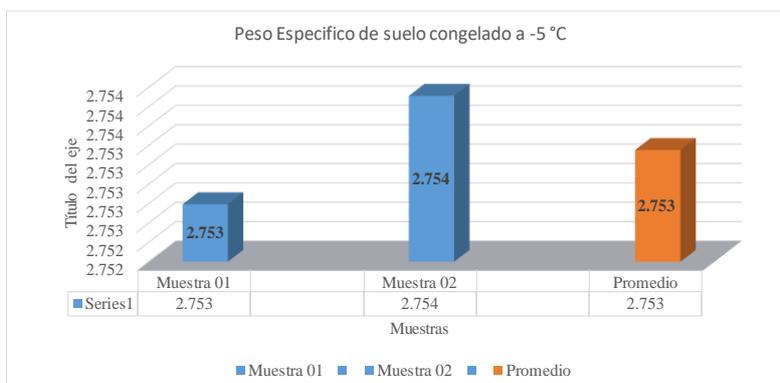
c) Análisis de la Prueba

Tabla N°70.- Peso Específico de Suelo Congelado a -5 °C

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Peso Especifico Mediante Picnómetro de Agua			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C			
Referencia:	MTC E 113 Determinación del Peso Especifico mediante Picnómetro de Agua			
Fecha de Ensayo:	17/02/2023			
Peso Especifico MTC E 113, Basado en la Norma ASTM D-				
Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Capacidad del Picnómetro	cm ³	500	500	
Peso del suelo seco	gr	270.63	271.95	
Peso del frasco + peso del suelo + peso del agua	gr	838.05	838.84	
Temperatura	°C	16	16	
Peso del Frasco + peso del agua	gr	665.87	665.78	
Corrección por Temperatura	K	1.0014134	1.0014134	
Peso Especifico Relativo del Suelo	Gs	2.753	2.754	
Peso Especifico	Gs	2.753		
Peso Especifico		2.753		g/cm³

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°81.- Grafica de Peso Especifico Promedio de Suelo Congelado a -5 °C



Fuente: Elaboración Propia

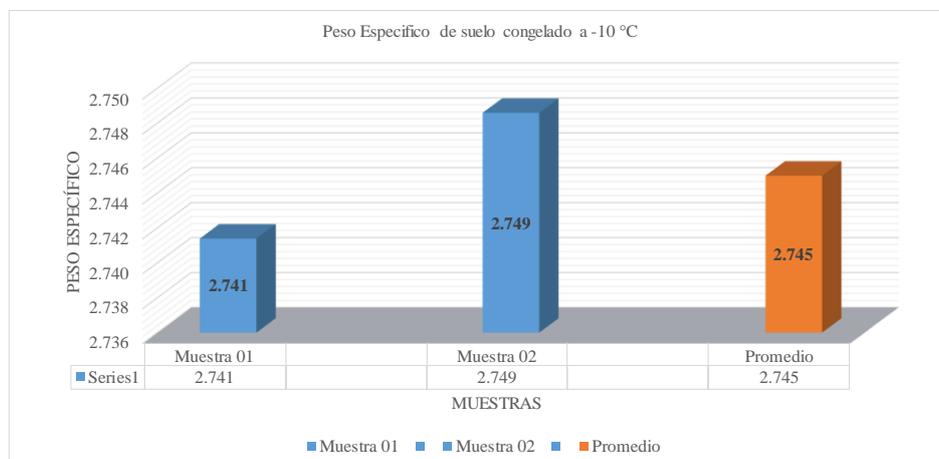


Tabla N°71.- Peso Específico de Suelo Congelado a -10 °C

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
Universidad Andina del Cusco	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Peso Especifico Mediante Picnómetro de Agua			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C			
Referencia:	MTC E 113 Determinación del Peso Especifico mediante Picnómetro de Agua			
Fecha de Ensayo:	10/03/2023			
<u>Peso Especifico MTC E 113, Basado en la Norma ASTM D-</u>				
Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Capacidad del Picnómetro	cm ³	500	500	
Peso del suelo seco	gr	270.33	271.15	
Peso del frasco + peso del suelo + peso del agua	gr	837.45	838.14	
Temperatura	°C	16	16	
Peso del Frasco + peso del agua	gr	665.87	665.78	
Corrección por Temperatura	K	1.0014134	1.0014134	
Peso Especifico Relativo del Suelo	Gs	2.741	2.749	
Peso Especifico	Gs	2.745		
Peso Especifico		2.745	g/cm ³	

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°82.- Peso Específico Promedio de Suelo Congelado a -10 °C



Fuente: Elaboración Propia



3.6.4 Determinación del Contenido de Humedad

a) Procesamiento o Cálculos de la Prueba

El contenido de humedad del suelo natural como para los suelos congelados se calcula, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso de suelo seco}} * 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} * 100$$

$$W = \frac{M_w}{M_c} * 100$$

Donde:

W = Contenido de Humedad (%)

M_{cws} = Peso del suelo húmedo más recipiente (gr)

M_{cs} = Peso del recipiente más suelo secado al horno (gr)

M_c = Peso del recipiente (gr)

M_w = Peso del agua (gr)

M_s = Peso de las partículas sólidas (gr)

b) Diagramas, Tablas

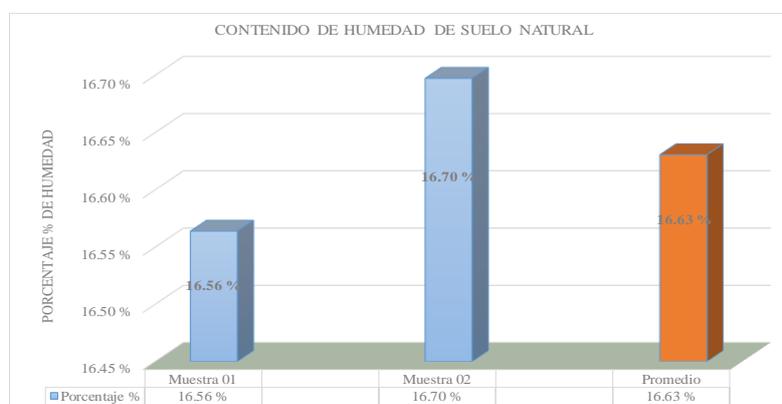


Tabla N°72.- Contenido de Humedad de Suelo Natural

 				
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Natural			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Natural			
Referencia:	MTC E 108 Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo			
Fecha de Ensayo:	02/02/2023			
MTC E 108, Basado en la Norma ASTM D-2216				
Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso de Recipiente	gr	36.11	42.09	
Peso de Recipiente + Muestra Húmeda	gr	193.04	326.96	
Peso de Recipiente + Muestra Seca	gr	170.74	286.20	
Peso del Agua	gr	22.30	40.76	
Peso de la Muestra Seca	gr	134.63	244.11	
Contenido de Humedad	%	16.56 %	16.70 %	
Contenido de Humedad Promedio		16.63 %		

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°83.- Grafica del Contenido de Humedad de Suelo Natural



Fuente: Elaboración Propia



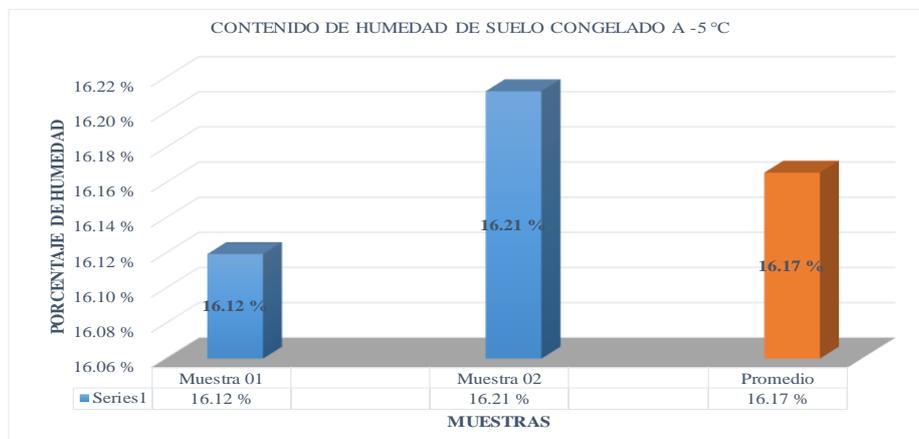
c) Análisis de la Prueba

Tabla N°73.- Contenido de Humedad de Suelo Congelado a -5 °C

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Natural			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a -5 °C			
Referencia:	MTC E 108 Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo			
Fecha de Ensayo:	16/02/2023			
MTCE 108, Basado en la Norma ASTM D-2216				
Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso de Recipiente	gr	36.10	42.11	
Peso de Recipiente + Muestra Húmeda	gr	193.14	326.76	
Peso de Recipiente + Muestra Seca	gr	171.34	287.05	
Peso del Agua	gr	21.80	39.71	
Peso de la Muestra Seca	gr	135.24	244.94	
Contenido de Humedad	%	16.12 %	16.21 %	
Contenido de Humedad Promedio		16.17 %		

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°84.- Grafica de Contenido de Humedad de Suelo Congelado a -5 °C



Fuente: Elaboración Propia

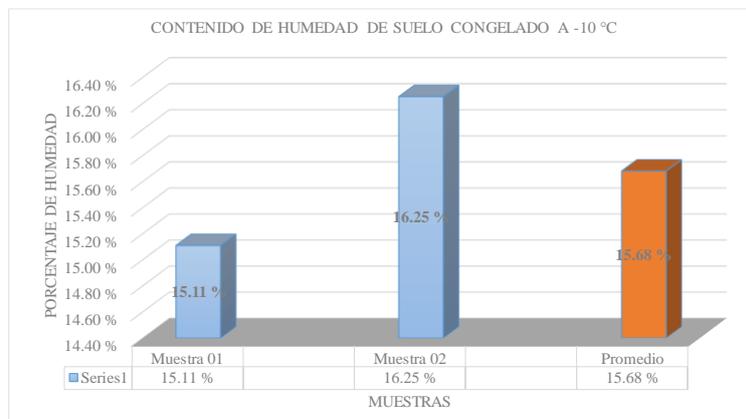


Tabla N°74.- Contenido de Humedad de Suelo Congelado a -10 °C

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 				
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Natural			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a -10°C			
Referencia:	MTC E 108 Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo			
Fecha de Ensayo:	02/03/2023			
MTC E 108, Basado en la Norma ASTM D-2216				
Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso de Recipiente	gr	35.85	42.21	
Peso de Recipiente + Muestra Húmeda	gr	193.54	326.96	
Peso de Recipiente + Muestra Seca	gr	172.84	287.15	
Peso del Agua	gr	20.70	39.81	
Peso de la Muestra Seca	gr	136.99	244.94	
Contenido de Humedad	%	15.11 %	16.25 %	
Contenido de Humedad Promedio			15.68 %	

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°85.- Grafica de Contenido de Humedad de Suelo Congelado a -10 °C



Fuente: Elaboración Propia



3.6.5 Determinación del Límite Líquido (L.L.)

a) Procesamiento o Cálculos de la Prueba

Para la determinación del Límite Líquido (L.L.) se realizó el siguiente procedimiento:

Se resta el peso del recipiente metálico con el peso del suelo seco más el recipiente metálico para encontrar el peso del suelo seco.

Para el peso del agua es la diferencia del peso del suelo húmedo y el suelo seco más el recipiente.

Para el contenido de humedad se determina mediante la siguiente formula.

$$W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco}} * 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} * 100$$

$$W = \frac{M_w}{M_c} * 100$$

Donde:

W = Contenido de Humedad (%)

M_{cws} = Peso del recipiente más suelo húmedo (gr)

M_{cs} = Peso del recipiente más suelo secado al horno (gr)

M_c = Peso del recipiente (gr)

M_w = Peso del agua (gr)

M_s = Peso de las partículas sólidas (gr)

Una vez determinado el contenido de humedad de proceder a la gráfica en una tabla semilogarítmica donde en el eje x se ubican el número de golpes y en el eje y se ubican el contenido de la humedad.

Finalmente, de la gráfica se genera la ecuación de tendencia donde la humedad coincide con los 25 golpes en la cual se determina el límite líquido.

b) Diagramas, Tablas

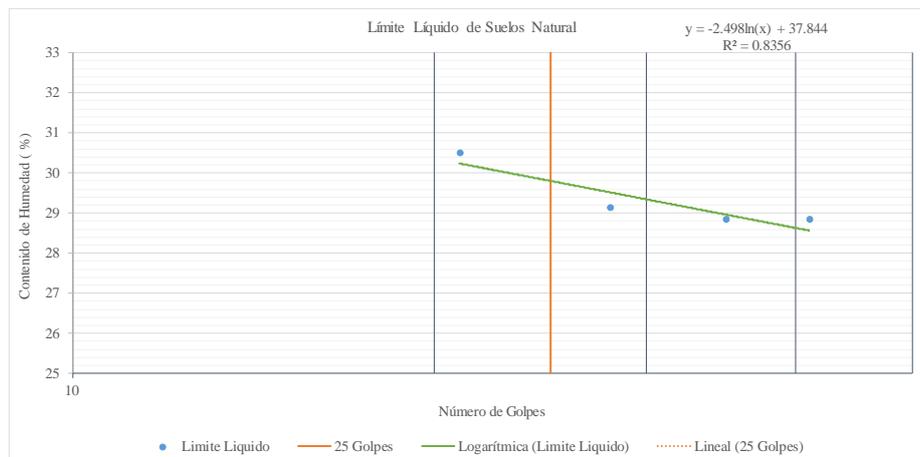


Tabla N°75.- Límite Líquido de Suelo Natural

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"				
Ensayo:	Determinación del Límite Líquido del Suelo				
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123				
Responsable:	Mauro Baca Noa				
Descripción de Muestra:	Suelo en Condición Natural				
Referencia:	MTC E 110 Determinación del Límite Líquido de los Suelos				
Fecha de Ensayo:	03/02/2023				
MTC E 110, Determinación del Límite Líquido (LL) de los Suelos					
Tamiz N°	Unidades	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Peso Suelo Húmedo + Recipiente Metálico	gr	21.09	19.01	17.54	21.34
Peso Suelo Seco + Recipiente Metálico	gr	18.25	16.53	14.89	18.44
Peso Recipiente Metálico	gr	8.40	7.93	5.79	8.93
Peso Suelo Seco	gr	9.85	8.60	9.10	9.51
Peso Agua	gr	2.84	2.48	2.65	2.90
Contenido de Humedad (%)	%	28.83 %	28.84 %	29.12 %	30.49 %
Número de Golpes	N	41	35	28	21
Límite Líquido		29.80 %			

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°86.- Límite Líquido de Suelo Natural



Fuente: Elaboración Propia



c) Análisis de la Prueba

Tabla N°76.- Límite Líquido de Suelo Congelado a -5 °C

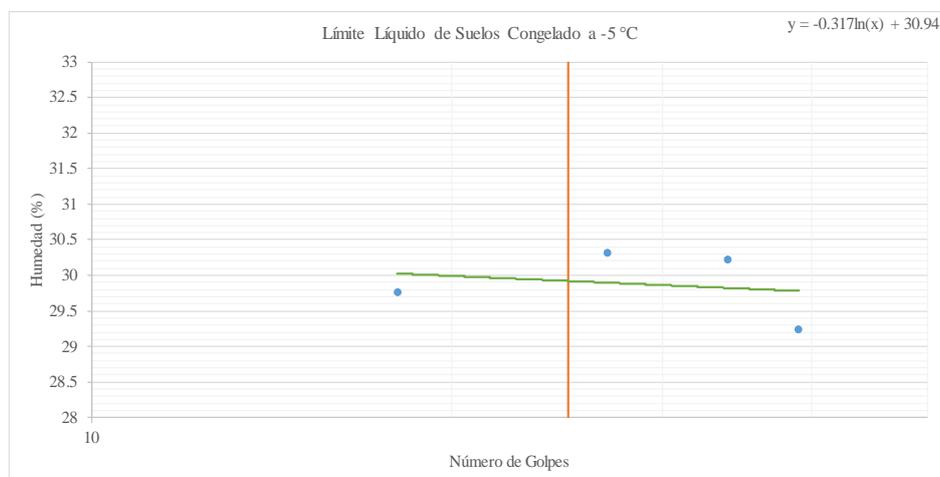
	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"	
Ensayo:	Determinación del Límite Líquido del Suelo	
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123	
Responsable:	Mauro Baca Noa	
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C	
Referencia:	MTC E 110 Determinación del Límite Líquido de los Suelos	
Fecha de Ensayo:	17/02/2023	

MTC E 110, Determinación del Límite Líquido (LL) de los Suelos

Tamiz N°	Unidades	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Peso Suelo Húmedo + Recipiente Metálico	gr	20.09	20.11	20.04	20.44
Peso Suelo Seco + Recipiente Metálico	gr	17.45	17.33	17.19	17.64
Peso Recipiente Metálico	gr	8.42	8.13	7.79	8.23
Peso Suelo Seco	gr	9.03	9.20	9.40	9.41
Peso Agua	gr	2.64	2.78	2.85	2.80
Contenido de Humedad (%)	%	29.24 %	30.22 %	30.32 %	29.76 %
Número de Golpes	N	39	34	27	18
Límite Líquido		29.98 %			

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°87.- Límite Líquido de Suelo Congelado a -5 °C



Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°77.- Límite Líquido de Suelo Congelado a -10 °C

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Límite Líquido del Suelo			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C			
Referencia:	MTC E 110 Determinación del Límite Líquido de los Suelos			
Fecha de Ensayo:	10/03/2023			

MTC E 110, Determinación del Límite Líquido (LL) de los Suelos

Tamiz N°	Unidades	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Peso Suelo Húmedo + Recipiente Metálico	gr	20.49	20.11	20.14	20.54
Peso Suelo Seco + Recipiente Metálico	gr	17.65	17.30	17.29	17.64
Peso Recipiente Metálico	gr	8.40	8.17	7.99	8.03
Peso Suelo Seco	gr	9.25	9.13	9.30	9.61
Peso Agua	gr	2.84	2.81	2.85	2.90
Contenido de Humedad (%)	%	30.70 %	30.78 %	30.65 %	30.18 %
Número de Golpes	N	42	34	27	19
Límite Líquido		30.62 %			

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°88.- Límite Líquido de Suelo Congelado a -10 °C



Fuente: Elaboración Propia



3.6.6 Determinación del Límite Plástico (L.P.)

a) Procesamiento o Cálculos de la Prueba

Para la determinación del Límite plástico (L.P.) se realizó el siguiente procedimiento:

Se resta el peso del recipiente metálico con el peso del suelo seco más el recipiente metálico para encontrar el peso del suelo seco.

Para el peso del agua es la diferencia del peso del suelo húmedo y el suelo seco más el recipiente.

Para el contenido de humedad se determina mediante la siguiente formula.

$$W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco}} * 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} * 100$$

$$W = \frac{M_w}{M_c} * 100$$

Donde:

W = Contenido de Humedad (%)

M_{cws} = Peso del recipiente más suelo húmedo (gr)

M_{cs} = Peso del recipiente más suelo secado al horno (gr)

M_c = Peso del recipiente (gr)

M_w = Peso del agua (gr)

M_s = Peso de las partículas sólidas (gr)

El límite plástico se determina del promedio de las muestras que contiene el contenido de humedad del suelo.

De la diferencia del Límite Líquido y Plástico se determina el Índice de Plasticidad mediante la siguiente formula:

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

$I.P.$ = Índice de Plasticidad

$L.L.$ = Límite Líquido

$L.P.$ = Limite Plástico



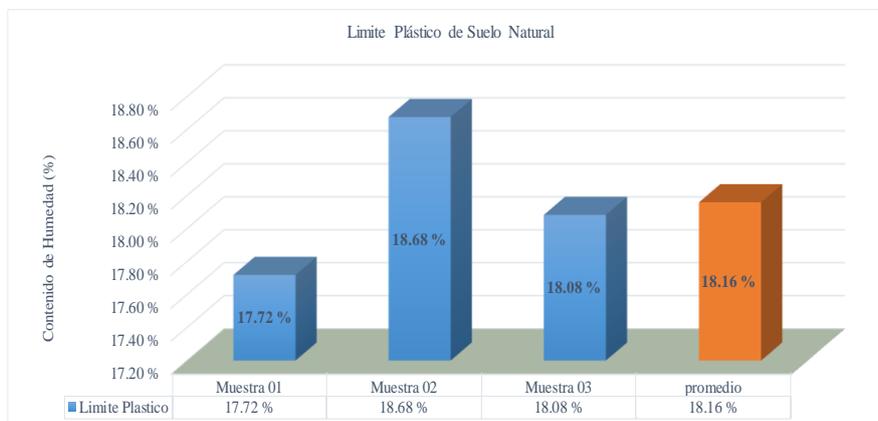
b) Diagramas, Tablas

Tabla N°78.- Límite Plástico de Suelo Natural

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Límite Plástico e Índice de Plasticidad del Suelo			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Natural			
Referencia:	MTC E 111 Determinación del Límite Plástico			
Fecha de Ensayo:	03/02/2023			
MTC E 111. Determinación del Límite Plástico (L.P.) de los Suelos e Índice de Plasticidad (I.P.)				
Descripción	Unidades	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso Suelo Húmedo + Recipiente Metálico	gr	14.14	17.31	13.31
Peso Suelo Seco + Recipiente Metálico	gr	13.27	16.04	12.48
Peso Recipiente Metálico	gr	8.36	9.24	7.89
Peso Suelo Seco	gr	4.91	6.8	4.59
Peso Agua	gr	0.87	1.27	0.83
Contenido de Humedad	%	17.72 %	18.68 %	18.08 %
Límite Plástico		18.16 %		
Límite Líquido:	%	29.80 %		
Límite Plástico:	%	18.16 %		
Índice de Plasticidad:	%	11.64 %		

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°89.- Límite Plástico de Suelo Natural



Fuente: Elaboración Propia



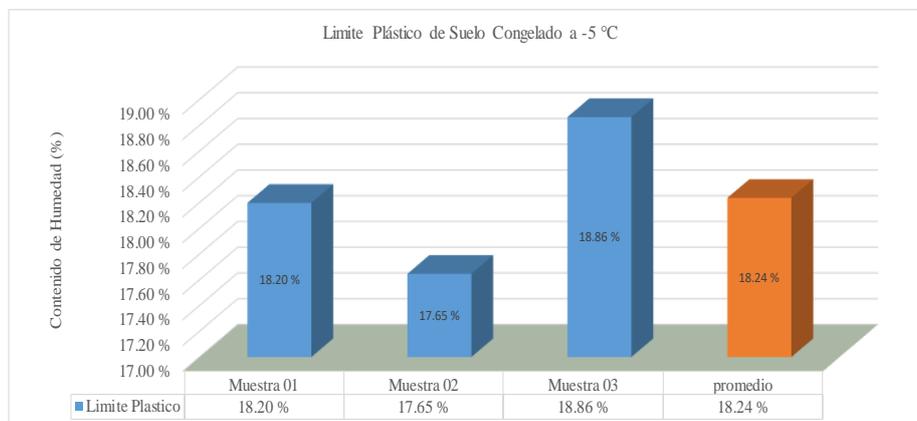
c) Análisis de la Prueba

Tabla N°79.- Límite Plástico de Suelo Congelado a -5 °C

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Límite Plástico e Índice de Plasticidad del Suelo			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C			
Referencia:	MTC E 111 Determinación del Límite Plástico			
Fecha de Ensayo:	17/02/2023			
MTC E 111. Determinación del Límite Plástico (L.P.) de los Suelos e Índice de Plasticidad (I.P.)				
Descripción	Unidades	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso Suelo Húmedo + Recipiente Metálico	gr	15.35	17.24	14.31
Peso Suelo Seco + Recipiente Metálico	gr	14.32	16.01	13.18
Peso Recipiente Metálico	gr	8.66	9.04	7.19
Peso Suelo Seco	gr	5.66	6.97	5.99
Peso Agua	gr	1.03	1.23	1.13
Contenido de Humedad	%	18.20 %	17.65 %	18.86 %
Límite Plástico		18.24 %		
Límite Líquido:	%	29.98 %		
Límite Plástico:	%	18.24 %		
Índice de Plasticidad:	%	11.75 %		

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°90.- Límite Plástico de Suelo Congelado a -5 °C



Fuente: Elaboración Propia

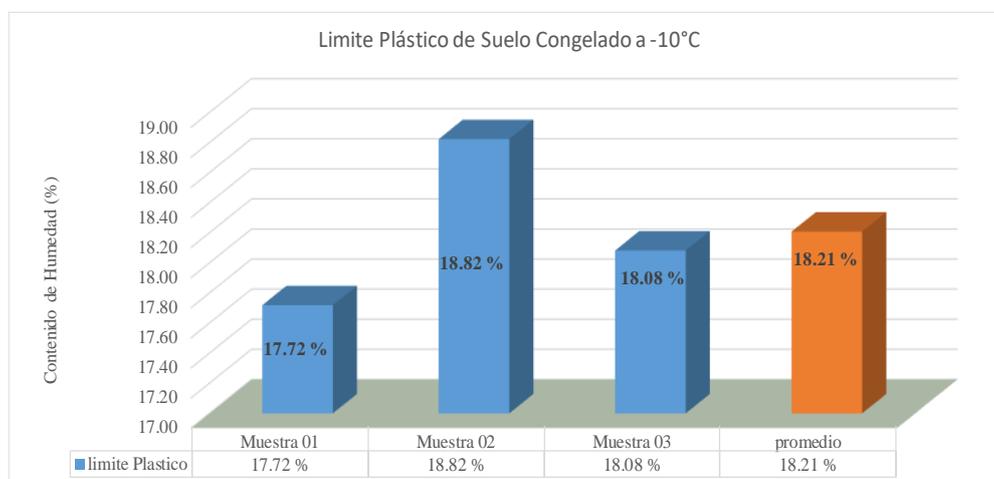


Tabla N°80.- Límite Plástico de Suelo Congelado a -10 °C

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"			
Ensayo:	Determinación del Límite Plástico e Índice de Plasticidad del Suelo			
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123			
Responsable:	Mauro Baca Noa			
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C			
Referencia:	MTC E 111 Determinación del Límite Plástico			
Fecha de Ensayo:	10/03/2023			
MTC E 111, Determinación del Límite Plástico (L.P.) de los Suelos e Índice de Plasticidad (I.P.)				
Descripción	Unidades	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso Suelo Húmedo + Recipiente Metálico	gr	14.14	17.32	13.31
Peso Suelo Seco + Recipiente Metálico	gr	13.27	16.04	12.48
Peso Recipiente Metálico	gr	8.36	9.24	7.89
Peso Suelo Seco	gr	4.91	6.8	4.59
Peso Agua	gr	0.87	1.28	0.83
Contenido de Humedad	%	17.72 %	18.82 %	18.08 %
Límite Plástico		18.21 %		
Límite Líquido:	%	30.62 %		
Límite Plástico:	%	18.21 %		
Índice de Plasticidad:	%	12.41 %		

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°91.- Límite Plástico de Suelo Congelado a -10 °C



Fuente: Elaboración Propia



3.6.7 Determinación de la Clasificación del Suelo

a) Procesamiento o Cálculos de la Prueba

Para la clasificación del suelo del presente trabajo de investigación es necesario tener los datos de la granulometría del suelo y los límites de consistencia el límite líquido plástico y el índice de plasticidad del suelo para poder realizar la clasificación del suelo por el método de SUCS y AASTHO.

b) Diagramas, Tablas

➤ Método AASTHO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y transportes)

En primer lugar, se analiza el pasante en el tamiz N° 200 haciendo comparaciones con el 35% mayor pasante es suelo fino menor o igual es suelo grueso.

% Pasante Tamiz N° 200	> 35 %	Suelo Fino
	< = 35 %	Suelo Grueso

Resultados de la granulometría

N° malla	% Retenido Acumulado	% Pasante
# 4	9.41	90.59
# 40	24.85	75.15
# 200	37.75	62.25

En seguida determinamos el índice de grupo (IG) mediante la siguiente formula:

$$IG = 0.2 (a) + 0.005 (a)(c) + 0.01 (b) (d)$$

Donde:

a = Es el % en exceso sobre 35, de suelo que pasa el tamiz N° 200, sin pasar de 75, se expresa como un numero entero de valor entre 0 y 40 (a = 27.25).

b = Es el % en exceso sobre 15, de suelo que pasa el tamiz N° 200, sin pasar el 55, se expresa como un numero entero de valor entre 0 y 40 (b = 47.25).

c = Es el % en exceso de limite líquido (LL) sobre 40, pero nunca superior a 60, se expresa como un numero entero de valor entre 0 y 20 (c = 0).

D = Es el % en exceso de índice de plasticidad (IP) sobre 10, pero nunca superior a 0, se expresa como un numero entero de valor entre 0 y 20 (d = 1.64)

$$IG = 6.227$$



Tabla N°81.- Clasificación del material para Subrasante en Carreteras

DICISIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (pasa menos del 35 % por el tamiz ASTM # 200)							MATERIALES LIMO - ARCILLOSOS (mas del 35 % por el tamiz ASTM # 200)					
GRUPO	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7		
Subgrupo	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A - 7 - 5	A - 7 - 6	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
SERIE ASTM	# 10	≤ 50											
	# 40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
	# 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	
ESTADO DE CONCISTENCIA (de la fraccion de suelo que pasa por el tamiz ASTM # 40)													
Límite Líquido		NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	> 41 (IP = LL - 30)	> 41 (IP = LL - 30)
Índice de Plásticidad	≤ 6		≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20					
TIPOLOGÍA	Fracmentos de Piedra, Gravas y Arenas	Arenas Finas	Grava y Arenas Limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos				
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA					ACEPTABLE A MALA							

Fuente: (Montejo Fonseca , 2002)

Clasificación de suelo según AASTHO es A -6 – (6.227) corresponde a suelo arcilloso Arenoso de condición aceptable.



➤ **Método SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

En primer lugar, se analiza el pasante en el tamiz N° 200 haciendo comparaciones con el 50% mayor pasante es suelo fino menor es suelo grueso.

% Pasante Tamiz N° 200	> 50 %	Suelo Fino
	< 50 %	Suelo Grueso

Además, se debe de tener presente la siguiente simbología de los materiales

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS)			
TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUB GRUPO	SUFIJO
GRAVA	G	Bien Graduado	W
ARENA	S	Pobremente Graduado	P
LIMO	M	Limoso	M
ARCILLA	C	Arcilloso	C
ORGANICO	O	Baja Plasticidad	L
		Alta Plasticidad	H

De los datos obtenidos de la granulometría y límites de consistencia se tienen:

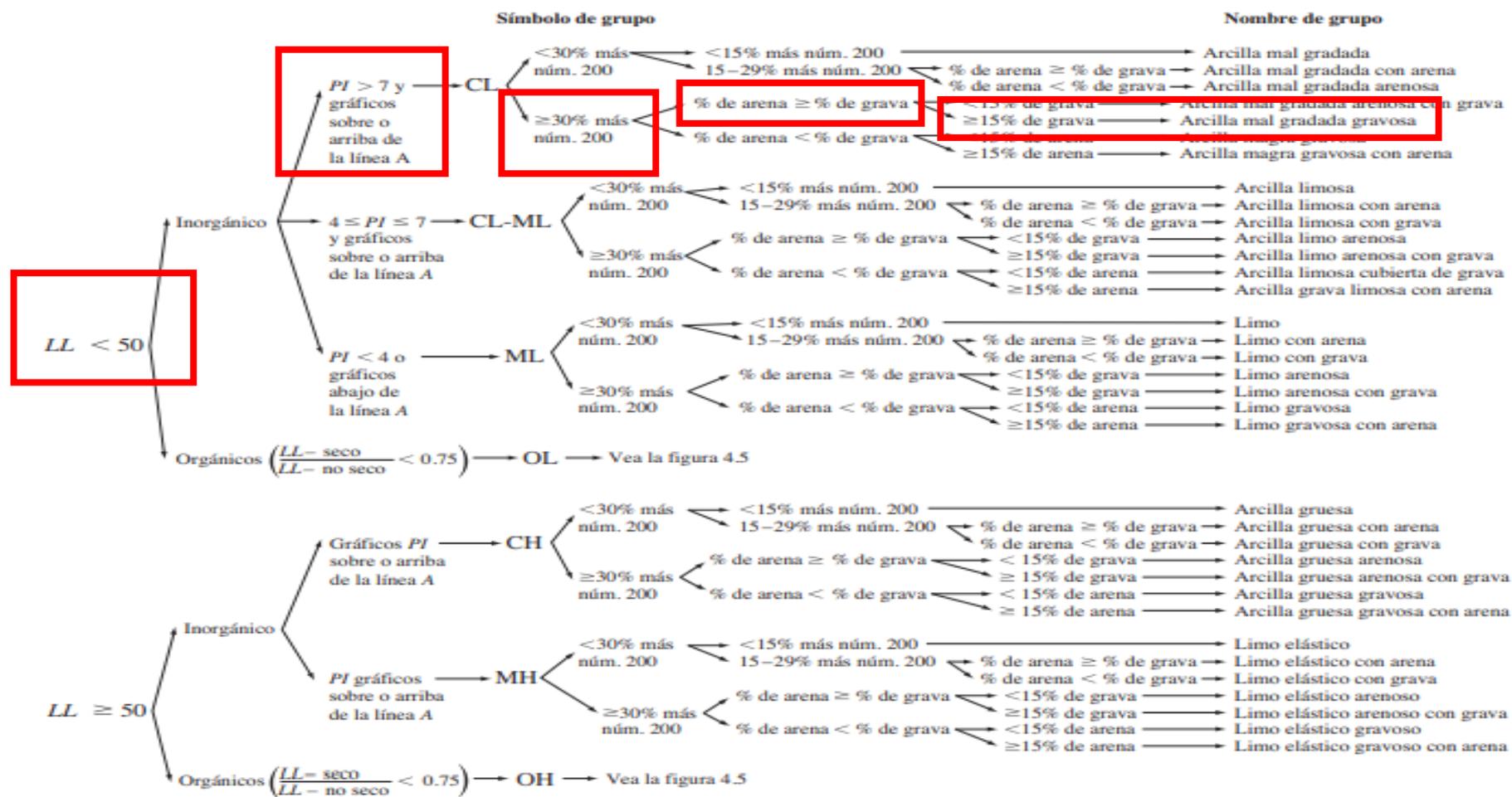
N° malla	% Retenido Acumulado	% Pasante
# 4	9.41	90.59
# 40	28.23	75.15
# 200	37.75	62.25

% Grava	9.41
% Arena	28.34
% Finos	62.25

Límite Líquido	LL =	29.80
Límite Plástico	LP =	18.16
Índice Plástico	IP =	11.64



Figura N°92.- Clasificación de Suelos SUCS



Fuente: (M. Das, 2013)



Figura N°93.- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW
		Menos de 5% finos ^a	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
		Más de 12% finos ^{a,d}	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW
		Menos de 5% finos ^b	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SP
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Arenas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM	
	Más de 12% finos ^{b,d}	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC	
Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) ^e	CL	
	Orgánico	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	ML	
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Límite líquido: secado	OL
			Límite líquido: no secado	
Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH	
		Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH	
		Límite líquido: secado	OH	
		Límite líquido: no secado		$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OH
			Pt	

^aGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.
^bArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.
^c $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$
^dSi $4 < PI < 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.
^eSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Fuente: (M. Das, 2013)

Se obtiene un suelo limo arcilloso de baja plasticidad y se clasifica como CL – ML



c) Análisis de la Prueba

De la clasificación del suelo se tiene la siguiente relación del tipo de suelo

- ✓ Clasificación de suelo según AASTHO es **A -6 – (6.227)** corresponde a suelo arcilloso Arenoso de condición aceptable.
- ✓ Se obtiene un suelo limo arcilloso de baja plasticidad y se clasifica como CL – ML

3.6.8 Determinación del Proctor Modificado

a) Procesamiento o Cálculos de la Prueba

Se procede a realizar el compactado en los moldes al finalizar el ensayo se extrae las muestras para el contenido de humedad:

Para el contenido de humedad se determina mediante la siguiente formula.

$$W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco}} * 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} * 100$$

$$W = \frac{M_w}{M_c} * 100$$

Donde:

W = Contenido de Humedad (%)

M_{cws} = Peso del recipiente más suelo húmedo (gr)

M_{cs} = Peso del recipiente más suelo secado al horno (gr)

M_c = Peso del recipiente (gr)

M_w = Peso del agua (gr)

M_s = Peso de las partículas sólidas (gr)

Luego se calcula la densidad húmeda mediante la siguiente formula:

$$\rho_{hum} = \frac{M_t - M_{md}}{V} * 100$$

$$\rho_{hum} = \frac{M_{hum}}{V}$$

Donde:



ρ_{hum} = Densidad Húmeda del espécimen compactado (gr/cm³)

M_t = Masa del espécimen húmedo y molde (gr)

M_{md} = Masa del molde de compactación (gr)

V = Volumen del molde de compactación (gr)

M_{hum} = Peso de la muestra compactada (gr)

Y por último se calcula de densidad seca mediante la siguiente formula:

$$\rho_{seca} = \frac{\rho_{hum}}{1 + \frac{W}{100}}$$

$$\rho_{seca} = \frac{\rho_{hum}}{1 + W}$$

Donde:

ρ_{seca} = Densidad seca del espécimen compactado (gr/cm³)

ρ_{hum} = Densidad Húmeda del espécimen compactado (gr/cm³)

W = Porcentaje de humedad

b) Diagramas, Tablas



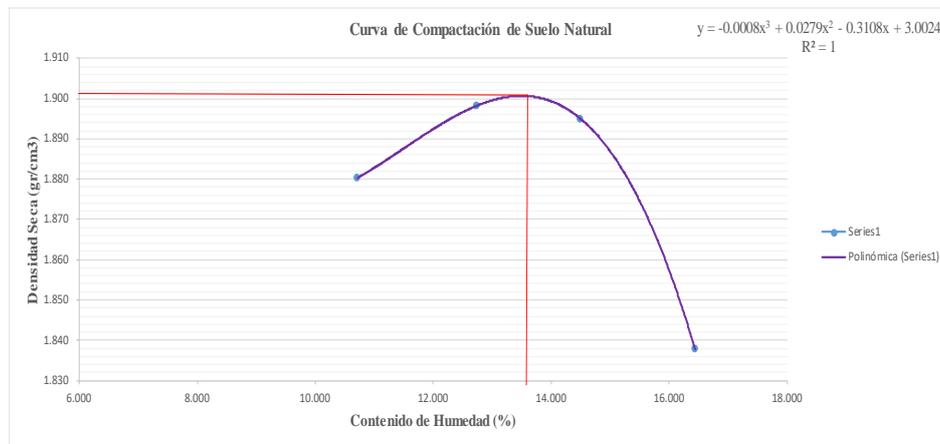
Tabla N°82.- Compactación de Suelo Natural

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL									
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"								
Ensayo:	Compactación de Suelo Usando Próctor Modificado								
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123								
Responsable:	Mauro Baca Noa								
Descripción de Muestra:	Suelo Natural								
Referencia:	MTC E 115 Compactación de Suelos en Laboratorio Utilizando Energía Modificada								
Fecha de Ensayo:	09/02/2023								
MTC E 115, Compactación de Suelo en laboratorio Utilizando una Energía Modificada (Proctor Modificado)									
Método de Compactación:		Tipo A							
Diámetro del Molde:	cm.	10.16							
Altura del Molde:	cm.	11.62							
Volumen del Molde:	cm ³	942.07							
Peso del Molde:	gr	3572							
N° de Capas:	unid.	5							
Golpes por capa:	unid.	25							
Molde:		4"							
DENSIDAD HUMEDA									
Ensayo	Unidades	1	2	3	4				
Peso de Muestra Húmeda + Molde	gr	5533	5588	5616	5588				
Peso del Molde	gr	3572	3572	3572	3572				
Peso de Muestra Húmeda	gr	1961	2016	2044	2016				
Volumen del Molde	cm ³	942.07	942.07	942.07	942.07				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	2.082	2.140	2.170	2.140				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Nro. De Recipientes	N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso de Muestra Húmeda + Tara	gr	97.79		90.48		69.14		92.16	
Peso de Muestra Seca + Tara	gr	89.93		82.42		61.89		81.7	
Peso del Agua	gr	7.86		8.06		7.25		10.46	
Peso de Tara	gr	16.53		19.14		11.87		18.07	
Peso de Muestra Seca	gr	73.4		63.28		50.02		63.63	
Contenido de Humedad	%	10.71		12.74		14.49		16.44	
Contenido de Humedad Promedio	%	10.708		12.737		14.494		16.439	
Densidad Seca	gr/cm ³	1.880		1.898		1.895		1.838	
Humedad Óptima CHO	%	13.50							
Densidad Seca máxima MDS	gr/cm ³	1.90							

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°94.- Curva de Compactación de Suelo Natural



Fuente: Elaboración Propia

c) Análisis de la Prueba

Humedad Optima CHO	%	13.50
Densidad Seca maxima MDS	gr/cm³	1.90

3.6.9 Determinación de la Capacidad de Soporte CBR

a) Procesamiento o Cálculos de la Prueba

$$W = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso del suelo seco al horno}} * 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} * 100$$

$$W = \frac{M_w}{M_c} * 100$$

Donde:

W = Contenido de Humedad (%)

M_{cws} = Peso del recipiente más suelo húmedo (gr)

M_{cs} = Peso del recipiente más suelo secado al horno (gr)

M_c = Peso del recipiente (gr)

M_w = Peso del agua (gr)

M_s = Peso de las partículas sólidas (gr)



Luego se calcula la densidad húmeda mediante la siguiente formula:

$$\rho_{hum} = \frac{M_t - M_{md}}{V} * 100$$

$$\rho_{hum} = \frac{M_{hum}}{V}$$

Donde:

ρ_{hum} = Densidad Húmeda del espécimen compactado (gr/cm3)

M_t = Masa del espécimen húmedo y molde (gr)

M_{md} = Masa del molde de compactación (gr)

V = Volumen del molde de compactación (gr)

M_{hum} = Peso de la muestra compactada (gr)

Y por último se calcula de densidad seca mediante la siguiente formula:

$$\rho_{seca} = \frac{\rho_{hum}}{1 + \frac{W}{100}}$$

$$\rho_{seca} = \frac{\rho_{hum}}{1 + W}$$

Donde:

ρ_{seca} = Densidad seca del espécimen compactado (gr/cm3)

ρ_{hum} = Densidad Húmeda del espécimen compactado (gr/cm3)

W = Porcentaje de humedad



b) Diagramas, Tablas

➤ **Determinación del CBR para Suelo Natural**

Tabla N°83.- Datos de CBR de suelo natural

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
Título de Tesis:		"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"						
Ensayo:		Ensayo de CBR Usando Proctor Modificado						
Ubicación:		km 14,650 de la carretera CU-123						
Responsable:		Mauro Baca Noa						
Descripción de Muestra:		Suelo Natural						
Referencia:		MTC E 132 - ASTM 1883 CBR de Suelos						
Fecha de Ensayo:		13/02/2023						
MTCE 132. CBR (California Bearing Ratio) de Suelo en laboratorio Utilizando una Energía modificada (Proctor Modificado)								
Datos del Proctor Modificado			Datos de la Energía de Compactación			Datos del Molde		
Densidad Seca Máxima	1.88	cm ³	Peso del Martillo	4.554	Kg	Diámetro del Molde	15.24	cm
Contenido de Humedad Óptimo	13.59	%	Altura de Caída del Martillo	45.72	cm	Altura del Molde	17.78	cm
			Número de Golpes	5		Altura del Disco Espaciador	6.14	cm
Datos del Equipo de Penetración						Altura de la Muestra	11.64	cm
Constante de Anillo de Carga	1.20E+01 +3.3E+00*X +0.00E+00*X ² +0.0E+00*X ³ kg					Área	182.41	cm ²
Área del Pistón	19.35	cm ²				Volumen	2123.31	cm ³
Datos de Ensayo de Compactación								
Muestras	Unidades	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		
Número de Golpes		55		26		12		
Ubicación del contenido de humedad		Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba	
Condición de la Muestra		No Satur.	Saturado	No Satur.	Saturado	No Satur.	Saturado	
Peso de Capsula	gr	15.01	19.27	16.54	11.65	19.19	16.52	
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	gr	71.07	83.14	71.13	67.16	78.57	81.89	
Peso de Capsula + Muestra Seca	gr	63.41	73.59	63.49	58.53	70.47	71.27	
Peso Agua	gr	7.66	9.55	7.64	8.63	8.10	10.62	
Peso de Muestra Seca	gr	48.40	54.32	46.95	46.88	51.28	54.75	
Contenido de Humedad	%	15.83 %	17.58 %	16.27 %	18.41 %	15.80 %	19.40 %	
Porcentaje de Absorción			1.75 %		2.14 %		3.60 %	
Nombre del Recipiente	N°	1	2	3	4	5	6	
Peso del Molde	gr	7390.50		7359.50		7297.00		
Peso del Molde + Muestra Húmeda	gr	11996.5	12116	11848	11987	11570.5	11779	
Peso de la Muestra Húmeda	gr	4606.00	4725.50	4488.50	4627.50	4273.50	4482.00	
Peso de la Muestra Seca	gr	3976.64		3860.32		3690.55		
Peso del Agua Absorbida	gr		119.50		139.00		208.50	
Porcentaje de Absorción	%		3.01 %		3.06 %		5.65 %	
Densidad Húmeda	gr/cm ³	2.17	2.23	2.11	2.18	2.01	2.11	
Densidad Seca	gr/cm ³	1.87	1.89	1.82	1.84	1.74	1.77	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°84.- Datos de expansión de CBR para suelo natural

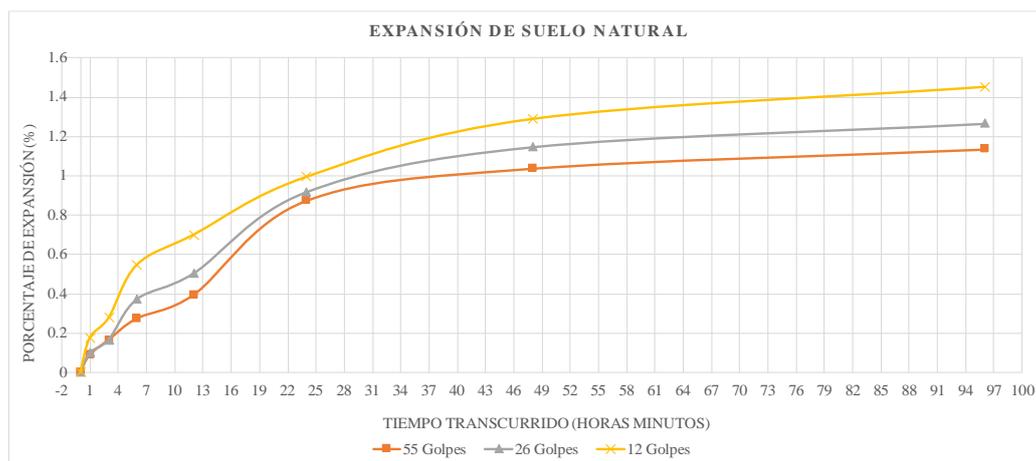
<div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</p> <p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> </div>	
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"
Ensayo:	Expansión con Muestra de CBR
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123
Responsable:	Mauro Baca Noa
Descripción de Muestra:	Suelo Natural
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suebs
Fecha de Ensayo:	17/02/2023

Expansión con Muestra de CBR

Tiempo Acumulado			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
			Dial * 0.001"	Hinchamiento		Dial * 0.001"	Hinchamiento		Dial * 0.001"	Hinchamiento	
Días	Horas	Minutos		(mm)	%		(mm)	%		(mm)	%
0	0	0.0	0	0	0.00 %	0	0	0.00 %	0	0	0.00 %
0.0625	1	60.0	4	0.102	0.09 %	4.5	0.114	0.10 %	8	0.203	0.17 %
0.125	3	180.0	7.5	0.191	0.16 %	7.5	0.191	0.16 %	13.8	0.321	0.28 %
0.25	6	360.0	12.5	0.318	0.27 %	17	0.432	0.37 %	25	0.635	0.55 %
0.5	12	720.0	18	0.457	0.39 %	23	0.584	0.50 %	32	0.813	0.70 %
1	24	1440.0	40	1.016	0.87 %	42	1.067	0.92 %	45.5	1.156	0.99 %
2	48	2880.0	47.5	1.207	1.04 %	52.5	1.334	1.15 %	59	1.499	1.29 %
4	96	5760.0	52	1.321	1.13 %	58	1.473	1.27 %	66.5	1.689	1.45 %

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°95.- Grafica de expansión de suelo natural.



Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°85.- Datos de penetración de CBR de suelo natural

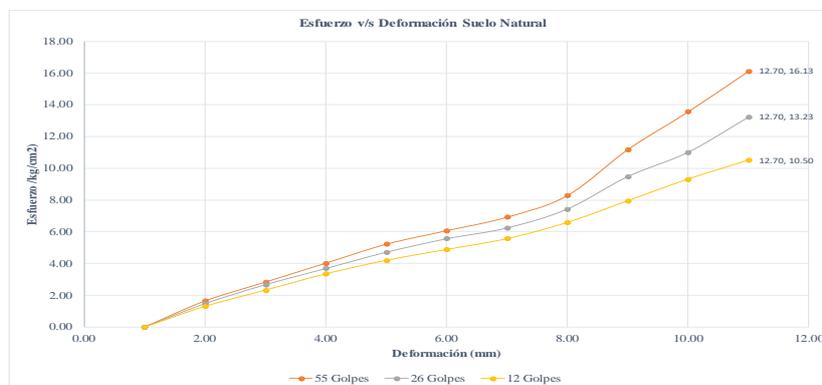
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"	
Ensayo:	De Carga Penetración con Muestra de CBR	
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123	
Responsable:	Mauro Baca Noa	
Descripción de Muestra:	Suelo Natural	
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos	
Fecha de Ensayo:	17/02/2023	

Ensayo de Carga Penetración con Muestra de CBR

Penetración		Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
		55 Golpes			26 Golpes			12 Golpes		
(mm)	pulg	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.63	0.025	6	31.76	1.64	5	28.46	1.47	4	25.16	1.30
1.27	0.050	13	54.85	2.83	12	51.55	2.66	10	44.95	2.32
1.91	0.075	20	77.93	4.03	18	71.34	3.69	16	64.74	3.35
2.54	0.100	27	101.02	5.22	24	91.13	4.71	21	81.23	4.20
3.17	0.125	32	117.52	6.07	29	107.62	5.56	25	94.43	4.88
3.81	0.150	37	134.01	6.93	33	120.81	6.24	29	107.62	5.56
5.08	0.200	45	160.39	8.29	40	143.90	7.44	35	127.41	6.58
7.62	0.300	62	216.47	11.19	52	183.48	9.48	43	153.80	7.95
10.16	0.400	76	262.65	13.57	61	213.17	11.02	51	180.19	9.31
12.70	0.500	91	312.12	16.13	74	256.05	13.23	58	203.27	10.50

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°96.- Grafica de la penetración de Suelo Natural.



Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°86.- Corrección de CBR.

CBR CORREGIDO							
Penetración (mm)	Carga	55 Golpes		26 Golpes		12 Golpes	
	Patrón	Mokle 1		Mokle 2		Mokle 3	
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	% CBR	Kgf/cm2	% CBR	Kgf/cm2	% CBR
2.54	70.31	5.22	7.43 %	4.71	6.70 %	4.20	5.97 %
5.08	105.46	8.29	7.86 %	7.44	7.05 %	6.58	6.24 %

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°87.- CBR para 0.1" = 2.54 mm

CBR - DENSIDAD SECA			
Numero de Golpes	0.1"	0.2"	Densidad Seca
55	7.43 %	7.86 %	1.87
26	6.70 %	7.05 %	1.82
12	5.97 %	6.24 %	1.74
Densidad Seca Máxima		1.90	gr/cm3
95 % de la DSM		1.81	gr/cm3

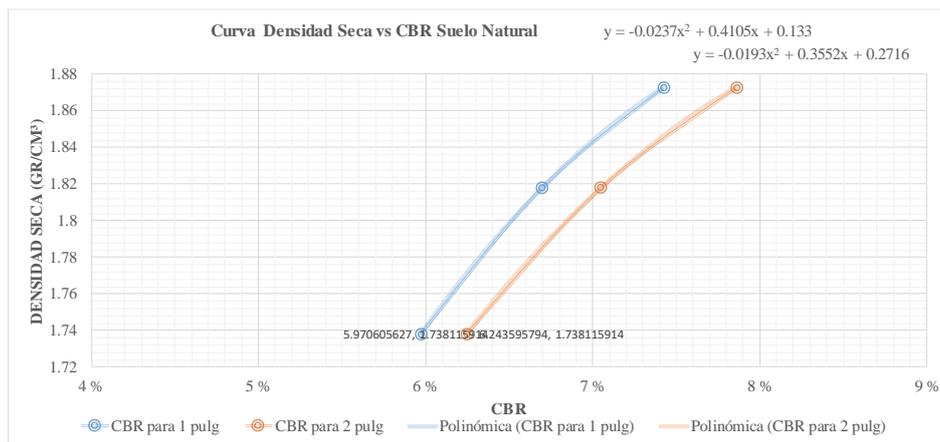
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°88.- CBR al 95% y 100% del MDS

CBR al 100% de la MDS	7.66	%	0.1"
CBR al 95% de la MDS	6.65	%	

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°97.- Grafica de CBR y Densidad Seca.



Fuente: Elaboración Propia



c) Análisis de la Prueba

➤ Determinación del CBR para Suelo Congelado a -5 °C

Tabla N°89.- Datos de CBR para Suelo Congelado a -5 °C

Datos del Proctor Modificado		Datos de la Energía de Compactación			Datos del Molde			
Densidad Seca Máxima	1.88	cm ³	Peso del Martillo	4.554	Kg	Diámetro del Molde	15.26	cm
Contenido de Humedad Óptimo	13.59	%	Altura de Caída del Martillo	45.72	cm	Altura del Molde	17.79	cm
			Número de Golpes	5		Altura del Disco Espaciador	6.14	cm
Datos del Equipo de Penetración						Altura de la Muestra	11.66	cm
Constante de Anillo de Carga	1.20E+0.1 +3.3E+00*X +0.00E+00*X ² +0.0E+00*X ³ kg					Área	182.41	cm ²
Área del Pistón	19.35	cm ²				Volumen	2132.54	cm ³

MTC E 132, CBR (California Bearnia Ratio) de Suelo en laboratorio Utilizando una Energía modificada (Proctor Modificado)							
Muestras		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
Número de Golpes	Unidades	55		26		12	
Ubicación del contenido de humedad		Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Condición de la Muestra		No Satur.	Saturado	No Satur.	Saturado	No Satur.	Saturado
Peso de Capsula	gr	15.15	20.05	16.35	11.25	19.05	16.35
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	gr	71.95	83.81	73.83	68.75	79.18	82.55
Peso de Capsula + Muestra Seca	gr	63.65	74.01	65.21	59.4	69.96	71.37
Peso Agua	gr	8.30	9.80	8.62	9.35	9.22	11.18
Peso de Muestra Seca	gr	48.50	53.96	48.86	48.15	50.91	55.02
Contenido de Humedad	%	17.11 %	18.16 %	17.64 %	19.42 %	18.11 %	20.32 %
Porcentaje de Absorción			1.05 %		1.78 %		2.21 %
Nombre del Recipiente	N°	1	2	3	4	5	6
Peso del Molde	gr	7358.50		7360.59		7298.50	
Peso del Molde + Muestra Húmeda	gr	12150.56	12247.85	12097.25	12235.98	11795.5	11992.45
Peso de la Muestra Húmeda	gr	4792.06	4889.35	4736.66	4875.39	4497.00	4693.95
Peso de la Muestra Seca	gr	3975.26		3862.65		3691.25	
Peso del Agua Absorbida	gr		120.05		139.54		209.45
Porcentaje de Absorción	%		3.25 %		3.66 %		5.95 %
Densidad Húmeda	gr/cm ³	2.25	2.29	2.22	2.29	2.11	2.20
Densidad Seca	gr/cm ³	1.92	1.94	1.89	1.91	1.79	1.83

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°90.- Datos de CBR para la Expansión de suelo Congelado a -5 °C

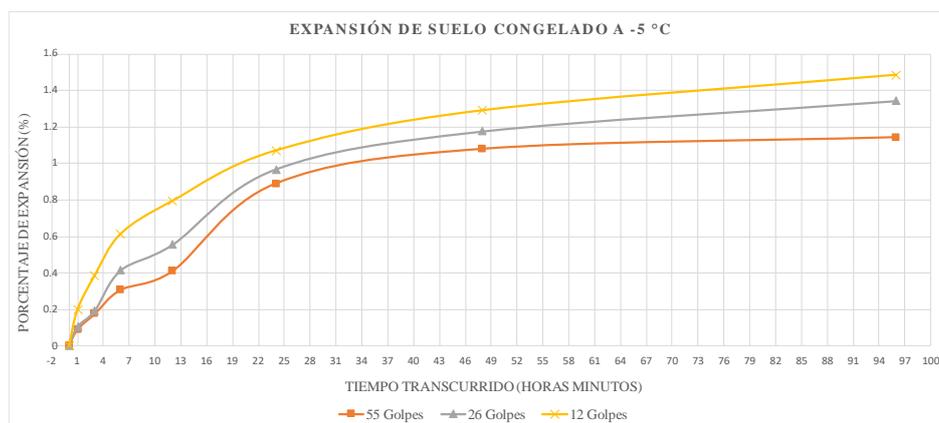
		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
Título de Tesis:		"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"					
Ensayo:		Expansión con Muestra de CBR					
Ubicación:		km 14.650 de la carretera CU-123					
Responsable:		Mauro Baca Noa					
Descripción de Muestra:		Suelo Congelado a temperatura de -5 °C					
Referencia:		MTC E 132 CBR de Suelos					
Fecha de Ensayo:		10/03/2023					

Expansión con Muestra de CBR

Tiempo Acumulado			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
			Dial * 0.001"	Hinchamiento		Dial * 0.001"	Hinchamiento		Dial * 0.001"	Hinchamiento	
Días	Horas	Mínutos		(mm)	%		(mm)	%		(mm)	%
0	0	0.00	0	0	0.00 %	0	0	0.00 %	0	0	0.00 %
0.0625	1	30.00	4.5	0.106	0.09 %	5	0.124	0.11 %	8.5	0.233	0.20 %
0.125	3	0.00	6.5	0.205	0.18 %	7.5	0.225	0.19 %	14.5	0.451	0.39 %
0.25	6	0.00	13.5	0.358	0.31 %	17	0.482	0.41 %	26	0.715	0.61 %
0.5	12	0.00	19	0.477	0.41 %	23	0.645	0.55 %	35	0.925	0.79 %
1	24	0.00	39	1.036	0.89 %	42	1.127	0.97 %	48.2	1.246	1.07 %
2	48	0.00	48.5	1.257	1.08 %	52.5	1.369	1.17 %	62.5	1.502	1.29 %
4	96	0.00	55	1.331	1.14 %	58	1.563	1.34 %	68	1.728	1.48 %

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°98.- Gráfico de la Expansión de CBR para Suelo Congelado a -5 °C



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°91.- Datos del CBR de la Penetración de Suelo Congelado a -5 °C

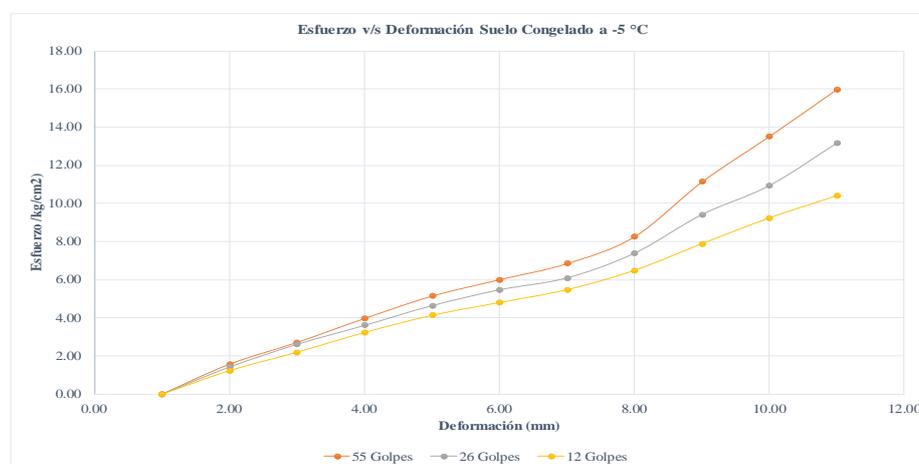
 <p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> 	
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"
Ensayo:	De Carga Penetración con Muestra de CBR
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123
Responsable:	Mauro Baca Noa
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos
Fecha de Ensayo:	10/03/2023

Ensayo de Carga Penetración con Muestra de CBR

Penetración		Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
		55 Golpes			26 Golpes			12 Golpes		
(mm)	pulg	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.63	0.025	5	30.45	1.57	4	27.48	1.42	3	23.85	1.23
1.27	0.050	12	52.58	2.72	11	50.46	2.61	8	42.51	2.20
1.91	0.075	19	76.83	3.97	17	69.75	3.60	15	62.49	3.23
2.54	0.100	25	99.58	5.15	22	89.78	4.64	19	79.85	4.13
3.17	0.125	31	116.25	6.01	27	105.85	5.47	23	92.89	4.80
3.81	0.150	35	132.58	6.85	32	117.96	6.10	27	105.89	5.47
5.08	0.200	43	159.86	8.26	38	142.92	7.39	34	125.49	6.49
7.62	0.300	61	215.45	11.13	51	182.15	9.41	44	152.45	7.88
10.16	0.400	75	261.75	13.53	59	211.52	10.93	49	178.56	9.23
12.70	0.500	89	309.42	15.99	72	254.62	13.16	55	201.11	10.39

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°99.- Gráfico de la Deformación de Suelo Congelado a -5 °C



Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°92.- CBR Corregido

CBR CORREGIDO							
Penetración (mm)	Carga	55 Golpes		26 Golpes		12 Golpes	
	Patrón	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	% CBR	Kgf/cm2	% CBR	Kgf/cm2	% CBR
2.54	70.31	5.15	7.32 %	4.64	6.60 %	4.13	5.87 %
5.08	105.46	8.26	7.83 %	7.39	7.00 %	6.49	6.15 %

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°93.- CRB para 0.1" = 2.54mm

CBR al 100% de la MDS	6.95	%	0.1"
CBR al 95% de la MDS	6.01	%	

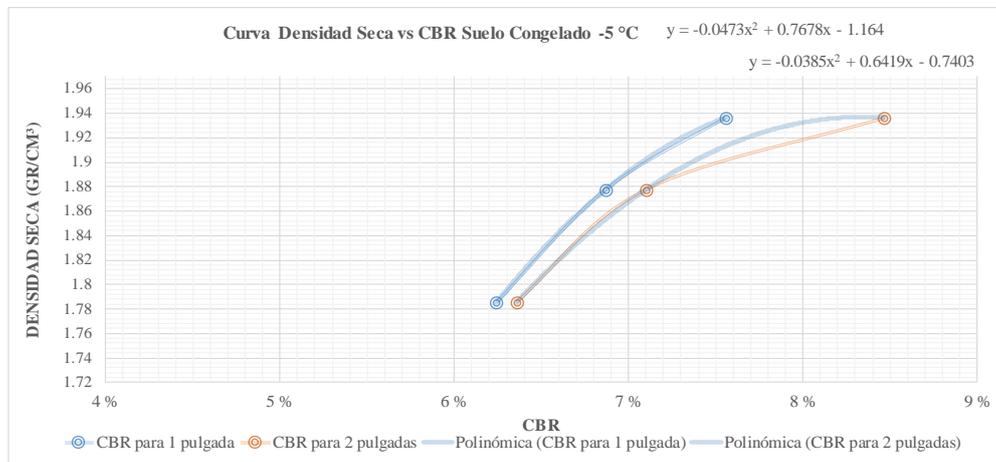
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°94.- CBR al 95% y 100% del MDS

CBR - DENSIDAD SECA			
Numero de Golpes	0.1"	0.2"	Densidad Seca
55	7.32 %	7.83 %	1.92
26	6.60 %	7.00 %	1.89
12	5.87 %	6.15 %	1.79
Densidad Seca Máxima		1.90	gr/cm3

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°100.- Grafica del CBR y Densidad Seca



Fuente: Elaboración Propia



➤ **Determinación del CBR para Suelo Congelado a -10 °C**

Tabla N°95.- Datos de CBR para Suelo Congelado a -10 °C

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
Universidad Andina del Cusco		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
Título de Tesis:		"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"					
Ensayo:		Ensayo de CBR Usando Proctor Modificado					
Ubicación:		km 14.650 de la carretera CU-123					
Responsable:		Mauro Baca Noa					
Descripción de Muestra:		Suelo Congelado a Temperatura a -10 °C					
Referencia:		MTC E 132 CBR de Suelos					
Fecha de Ensayo:		28/03/2023					
MTC E 132, CBR (California Bearnia Ratio) de Suelo en laboratorio Utilizando una Energía modificada (Proctor Modificado)							
Datos del Proctor Modificado			Datos de la Energía de Compactación			Datos del Molde	
Densidad Seca Máxima	1.88	cm ³	Peso del Martillo	4.554	Kg	Diámetro del Molde	15.26 cm
Contenido de Humedad Óptimo	13.59	%	Altura de Caída del Molde	45.72	cm	Altura del Molde	17.79 cm
			Número de Golpes	5		Altura del Disco Espaciador	6.14 cm
Datos del Equipo de Penetración						Altura de la Muestra	11.66 cm
Constante de Anillo de Carga	1.20E+01 +3.3E+00*X +0.00E+00*X ² +0.0E+00*X ³ kg					Área	182.41 cm ²
Área del Pistón	19.35	cm ²				Volumen	2132.54 cm ³
Datos de Ensayo de Compactación							
Muestras		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
Número de Golpes	Unidades	55		26		12	
Ubicación del contenido de humedad		Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Condición de la Muestra		No Satur.	Saturado	No Satur.	Saturado	No Satur.	Saturado
Peso de Capsula	gr	15.95	20.25	16.45	11.05	19.35	16.05
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	gr	73.85	84.51	73.23	68.75	79.58	83.95
Peso de Capsula + Muestra Seca	gr	64.98	74.01	64.21	58.4	68.96	70.37
Peso Agua	gr	8.87	10.50	9.02	10.35	10.62	13.58
Peso de Muestra Seca	gr	49.03	53.76	47.76	47.35	49.61	54.32
Contenido de Humedad	%	18.09 %	19.53 %	18.89 %	21.86 %	21.41 %	25.00 %
Porcentaje de Absorción			1.44 %		2.97 %		3.59 %
Nombre del Recipiente	N°	1	2	3	4	5	6
Peso del Molde	gr	7358.50		7360.45		7298.50	
Peso del Molde + Muestra Húmeda	gr	12255.3	12417.45	12185.45	12465.55	12005.25	12275.78
Peso de la Muestra Húmeda	gr	4896.80	5058.95	4825.00	5105.10	4706.75	4977.28
Peso de la Muestra Seca	gr	3974.16		3863.56		3692.45	
Peso del Agua Absorbida	gr		121.15		140.74		211.45
Porcentaje de Absorción	%		3.35 %		3.76 %		5.99 %
Densidad Húmeda	gr/cm ³	2.30	2.37	2.26	2.39	2.21	2.33
Densidad Seca	gr/cm ³	1.94	1.98	1.90	1.96	1.82	1.87

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°96.- Datos del CBR para la Expansión de Suelo Congelado a -10 °C

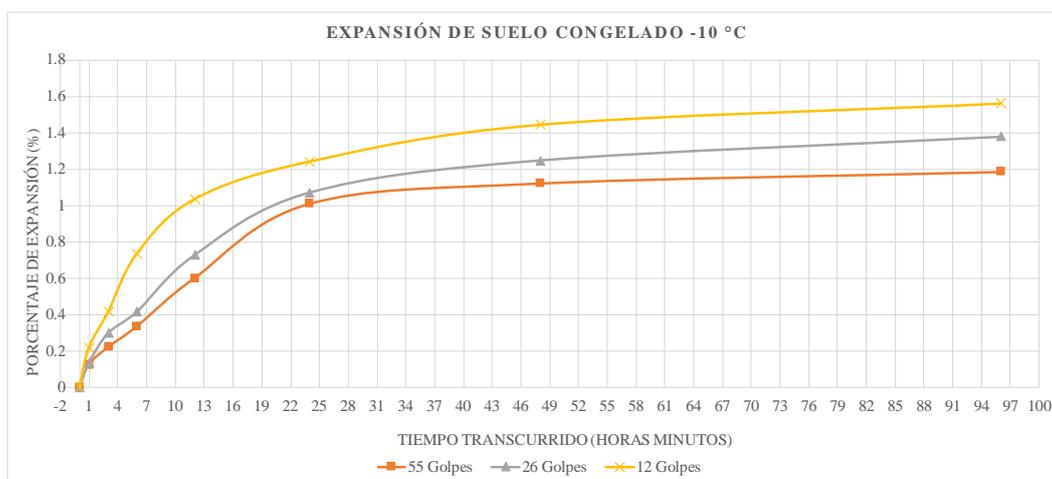
 Universidad Andina del Cusco	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"	
Ensayo:	Expansión con Muestra de CBR	
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123	
Responsable:	Mauro Baca Noa	
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a temperatura de -10 °C	
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos	
Fecha de Ensayo:	01/04/2023	

Expansión con Muestra de CBR

Tiempo Acumulado			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
			Dial * 0.001"	Hinchamiento		Dial * 0.001"	Hinchamiento		Dial * 0.001"	Hinchamiento	
Días	Horas	Minutos	(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%	
0	0	0.00	0	0	0.00 %	0	0	0.00 %	0	0	0.00 %
0.0625	1	30.00	5	0.145	0.12 %	5.9	0.154	0.13 %	9.2	0.253	0.22 %
0.125	3	0.00	7.4	0.255	0.22 %	8.5	0.345	0.30 %	17.5	0.481	0.41 %
0.25	6	0.00	14.2	0.389	0.33 %	18.2	0.482	0.41 %	28.2	0.855	0.73 %
0.5	12	0.00	20.5	0.698	0.60 %	15.4	0.845	0.73 %	38.2	1.205	1.04 %
1	24	0.00	41.5	1.175	1.01 %	45.2	1.246	1.07 %	52.4	1.446	1.24 %
2	48	0.00	51.2	1.305	1.12 %	57.2	1.452	1.25 %	68.4	1.682	1.45 %
4	96	0.00	60.4	1.379	1.18 %	64.2	1.604	1.38 %	70.4	1.818	1.56 %

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°101.- Grafica de la expansión de suelo congelado a -10 °C



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°97.- Datos del CBR par a la penetración de Suelo Congelado a -10 °C

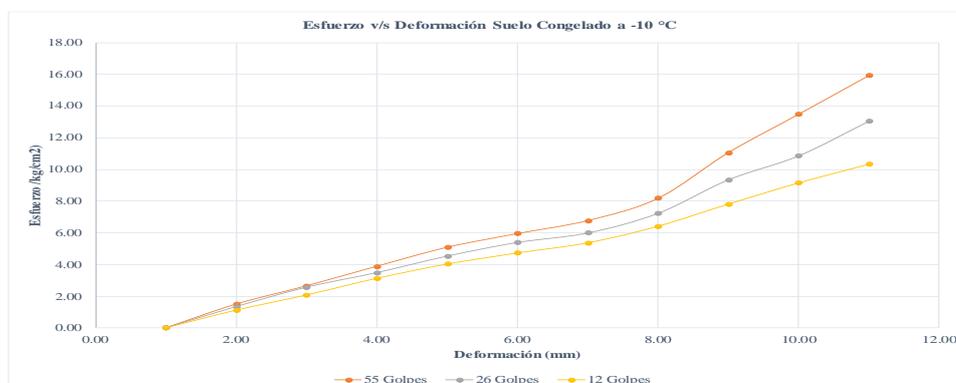
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 	
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"
Ensayo:	De Carga Penetración con Muestra de CBR
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123
Responsable:	Mauro Baca Noa
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos
Fecha de Ensayo:	01/04/2023

Ensayo de Carga Penetración con Muestra de CBR

Penetración		Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
		55 Golpes			26 Golpes			12 Golpes		
(mm)	pulg	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.63	0.025	4	28.97	1.50	3	25.89	1.34	2	21.56	1.11
1.27	0.050	11	51.24	2.65	10	49.56	2.56	7	40.12	2.07
1.91	0.075	17	75.15	3.88	15	67.45	3.49	13	60.45	3.12
2.54	0.100	13	98.25	5.08	20	87.56	4.53	18	77.85	4.02
3.17	0.125	29	115.01	5.94	25	104.23	5.39	22	91.46	4.73
3.81	0.150	33	130.89	6.76	31	115.89	5.99	25	103.89	5.37
5.08	0.200	42	158.12	8.17	37	139.87	7.23	31	124.20	6.42
7.62	0.300	60	213.87	11.05	49	180.76	9.34	39	151.25	7.82
10.16	0.400	73	260.74	13.47	56	210.12	10.86	42	177.14	9.15
12.70	0.500	87	308.06	15.92	69	252.49	13.05	51	200.04	10.34

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°102.- Gráfico de la Penetración para Suelo Congelado a -10 °C



Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°98.- CBR Corregido

CBR CORREGIDO							
Penetración (mm)	Carga	55 Golpes		26 Golpes		12 Golpes	
	Patrón	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	% CBR	Kgf/cm2	% CBR	Kgf/cm2	% CBR
2.54	70.31	5.08	7.22 %	4.53	6.44 %	4.02	5.72 %
5.08	105.46	8.17	7.75 %	7.23	6.85 %	6.42	6.09 %

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°99.- CBR para 0.1" = 2.54mm

CBR al 100% de la MDS	6.59	%	0.1"
CBR al 95% de la MDS	5.51	%	

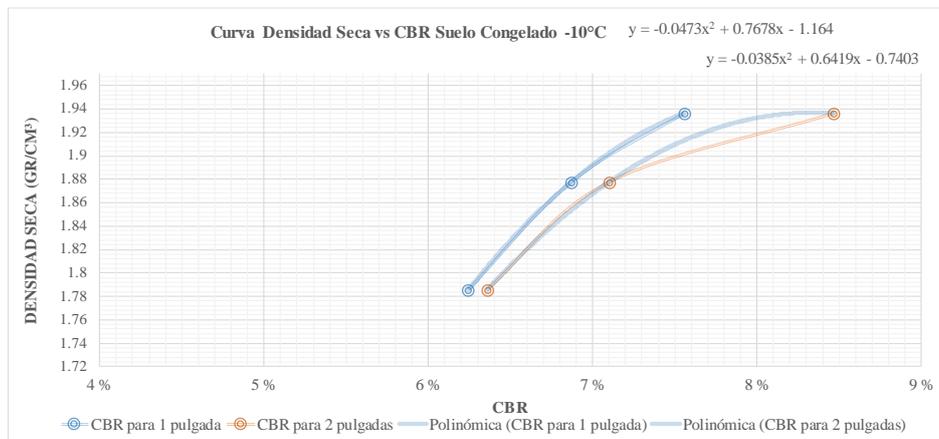
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°100.- CBR al 95% y 100% del MDS

CBR - DENSIDAD SECA			
Numero de Golpes	0.1"	0.2"	Densidad Seca
55	7.22 %	7.75 %	1.94
26	6.44 %	6.85 %	1.90
12	5.72 %	6.09 %	1.82
Densidad Seca Máxima		1.90	gr/cm3

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°103.- Grafica del CBR y Densidad Seca



Fuente: Elaboración Propia



3.6.10 Determinación de la Cohesión Mediante Compresión No Confinada

a) Procesamiento o Cálculos de la Prueba

Para la compresión no confinada de acuerdo a la norma MTC E-121 del ministerio de transportes se prepara el molde con las siguientes dimensiones 5.37 cm de diámetro y 13.77 cm de altura.

Se utilizarán las siguientes ecuaciones:

Para la deformación unitaria (ε) según la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Donde:

ε : Deformación axial unitaria

ΔL : Variación de longitud de la muestra antes y después de la compresión.

L_0 : Longitud inicial de la muestra

Área de la sección transversal de la muestra (A) según la siguiente fórmula:

$$A = \frac{A_0}{(1 - \varepsilon)}$$

Donde:

ε : Deformación axial unitaria.

A_0 : Area inicial de la probeta

Para el cálculo del esfuerzo normal (σ), se utiliza la siguiente formula:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

P: Carga aplicada a la probeta

A: área de la sección transversal

b) Diagramas, Tablas

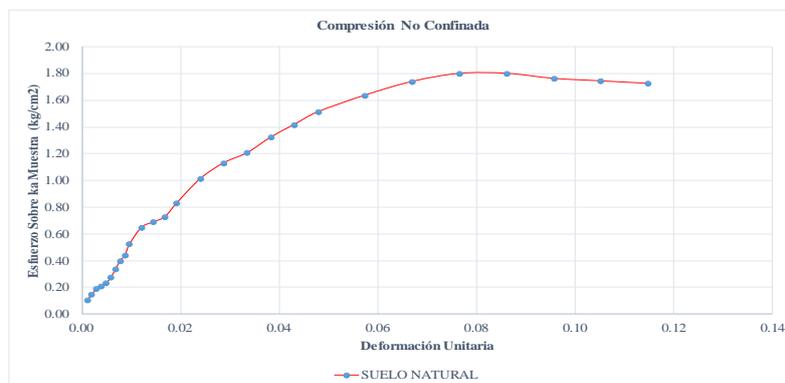


Tabla N°101.- Datos para la compresión simple.

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO CUSCO 2022"						
Ensayo:	Compresión No Confinada						
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123						
Responsable:	Mauro Baca Noa						
Descripción de Muestra:	Suelo natural						
Referencia:	MTC E 121 Compresión No Confinada						
Fecha de Ensayo:	15/02/2023						
Ensayo de Compresión No Confinada							
Dimensiones de la muestra			Dimensiones de la muestra				
Diámetro	50.20	mm	Peso	405.96	gr		
Altura Lo	104.6	mm	Peso Unitario Húmedo	1.96	gr/cm3		
Área	19.79	cm2	Contenido de Humedad	13.62	%		
Volumen	207.03	cm3	Peso Unitario Seco	1.73	gr/cm3		
Caracterización Inicial de la Muestra							
Deformímetro de Longitud	Deformímetro de Carga	Carga total Sobre la Muestra	Deformímetro de la Muestra Δ L	Deformación Unitaria Δ L/LO	Factor de Corrección de Área (1-Δ L) / LO	Área Corregida A'	Esfuerzo Sobre la Muestra
	M-01	M-01	mm			cm2	M-01
*0.01 mm	*0.419 kg	kg	mm			kg/cm2	
10	5	2.09	0.10	0.001	0.999	19.81	0.11
20	7	2.93	0.20	0.002	0.998	19.83	0.15
30	9	3.77	0.30	0.003	0.997	19.85	0.19
40	10	4.19	0.40	0.004	0.996	19.87	0.21
50	11	4.60	0.50	0.005	0.995	19.89	0.23
60	13	5.44	0.60	0.006	0.994	19.91	0.27
70	16	6.70	0.70	0.007	0.993	19.93	0.34
80	19	7.95	0.80	0.008	0.992	19.94	0.40
90	21	8.79	0.90	0.009	0.991	19.96	0.44
100	25	10.46	1.00	0.010	0.990	19.98	0.52
125	31	12.98	1.25	0.012	0.988	20.03	0.65
150	33	13.81	1.50	0.014	0.986	20.08	0.69
175	35	14.65	1.75	0.017	0.983	20.13	0.73
200	40	16.74	2.00	0.019	0.981	20.18	0.83
250	49	20.51	2.50	0.024	0.976	20.28	1.01
300	55	23.02	3.00	0.029	0.971	20.38	1.13
350	59	24.70	3.50	0.033	0.967	20.48	1.21
400	65	27.21	4.00	0.038	0.962	20.58	1.32
450	70	29.30	4.50	0.043	0.957	20.68	1.42
500	75	31.39	5.00	0.048	0.952	20.79	1.51
600	82	34.32	6.00	0.057	0.943	21.00	1.64
700	88	36.83	7.00	0.067	0.933	21.21	1.74
800	92	38.51	8.00	0.076	0.924	21.43	1.80
900	93	38.93	9.00	0.086	0.914	21.66	1.80
1000	92	38.51	10.00	0.096	0.904	21.88	1.76
1100	92	38.51	11.00	0.105	0.895	22.12	1.74
1200	92	38.51	12.00	0.115	0.885	22.36	1.72

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°104.- Grafica de la compresión simple.



Fuente: Elaboración Propia



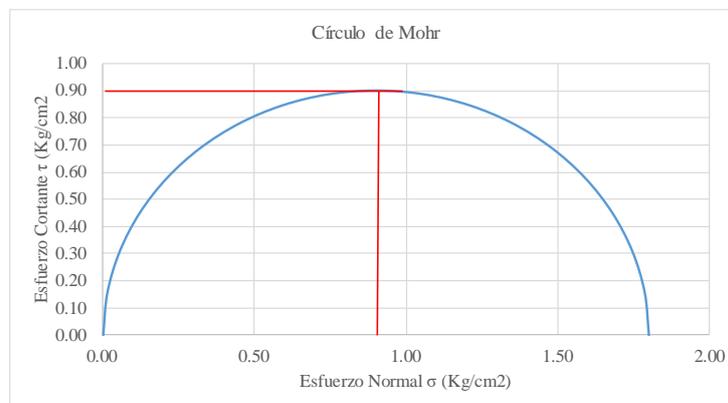
Esfuerzos			
Esfuerzo máximo	σ	1.80	(Kg/cm ²)
Esfuerzo	σ_1	1.80	(Kg/cm ²)
Esfuerzo de ensayo	σ_3	0	(Kg/cm ²)
Origen	σ_1	0.90	
Radio	r_1	0.90	

Tabla N°102.- Esfuerzos normales y cortante para la cohesión.

Grados	Radianes	Esfuerzo Normal σ (Kg/cm ²)	Esfuerzo Cortante τ (Kg/cm ²)
0	0.000	1.799	0.000
10	0.175	1.786	0.156
20	0.349	1.745	0.308
30	0.524	1.679	0.450
40	0.698	1.589	0.578
50	0.873	1.478	0.689
60	1.047	1.350	0.779
70	1.222	1.207	0.845
80	1.396	1.056	0.886
90	1.571	0.900	0.900
100	1.745	0.743	0.886
110	1.920	0.592	0.845
120	2.094	0.450	0.779
130	2.269	0.321	0.689
140	2.443	0.210	0.578
150	2.618	0.121	0.450
160	2.793	0.054	0.308
170	2.967	0.014	0.156
180	3.142	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°105.- Grafica de Circulo de Mohr para la cohesión.



Fuente: Elaboración Propia

Cohesión	0.90	kg/cm ²
----------	------	--------------------



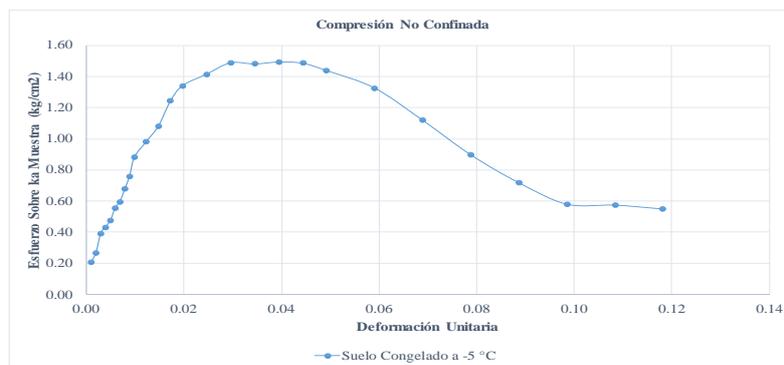
c) Análisis de la Prueba

Tabla N°103.- Datos de suelo congelado a -5 °C

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"						
Ensayo:	Compresión No Confinada						
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123						
Responsable:	Mauro Baca Noa						
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -5 °C						
Referencia:	MTC E 121 Compresión No Confinada						
Fecha de Ensayo:	08/03/2023						
Ensayo de Compresión No Confinada							
Dimensiones de la muestra							
Diámetro	50.70	mm					
Altura Lo	101.5	mm					
Área	20.19	cm ²					
Volumen	204.91	cm ³					
Dimensiones de la muestra							
Peso	403.19	gr					
Peso Unitario Húmedo	1.97	gr/cm ³					
Contenido de Humedad	13.62	%					
Peso Unitario Seco	1.73	gr/cm ³					
Caracterización Inicial de la Muestra							
Deformímetro o de Longitud	Deformímetro de Carga	Carga total Sobre la Muestra	Deformímetro de la Muestra Δ L	Deformación Unitaria Δ L/L0	Factor de Corrección de Área (1-Δ L) / L0	Área Corregida A'	Esfuerzo Sobre la Muestra
	M-01	M-01					M-01
*0.01 mm	*0.419 kg	kg	mm			cm ²	kg/cm ²
10	10	4.19	0.10	0.001	0.999	20.21	0.21
20	13	5.44	0.20	0.002	0.998	20.23	0.27
30	19	7.95	0.30	0.003	0.997	20.25	0.39
40	21	8.79	0.40	0.004	0.996	20.27	0.43
50	23	9.63	0.50	0.005	0.995	20.29	0.47
60	27	11.30	0.60	0.006	0.994	20.31	0.56
70	29	12.14	0.70	0.007	0.993	20.33	0.60
80	33	13.81	0.80	0.008	0.992	20.35	0.68
90	37	15.49	0.90	0.009	0.991	20.37	0.76
100	43	18.00	1.00	0.010	0.990	20.39	0.88
125	48	20.09	1.25	0.012	0.988	20.44	0.98
150	53	22.18	1.50	0.015	0.985	20.49	1.08
175	61	25.53	1.75	0.017	0.983	20.54	1.24
200	66	27.63	2.00	0.020	0.980	20.59	1.34
250	70	29.30	2.50	0.025	0.975	20.70	1.42
300	74	30.97	3.00	0.030	0.970	20.80	1.49
350	74	30.97	3.50	0.034	0.966	20.91	1.48
400	75	31.39	4.00	0.039	0.961	21.02	1.50
450	75	31.39	4.50	0.044	0.956	21.13	1.49
500	73	30.56	5.00	0.049	0.951	21.23	1.44
600	68	28.46	6.00	0.059	0.941	21.46	1.33
700	58	24.46	7.00	0.069	0.931	21.68	1.12
800	47	19.67	8.00	0.079	0.921	21.92	0.90
900	38	15.91	9.00	0.089	0.911	22.15	0.72
1000	31	12.98	10.00	0.099	0.901	22.39	0.58
1100	31	12.98	11.00	0.108	0.892	22.64	0.57
1200	30	12.56	12.00	0.118	0.882	22.90	0.55

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°106.- Grafica de la compresión simple para suelo congelado a -5 °C



Fuente: Elaboración Propia



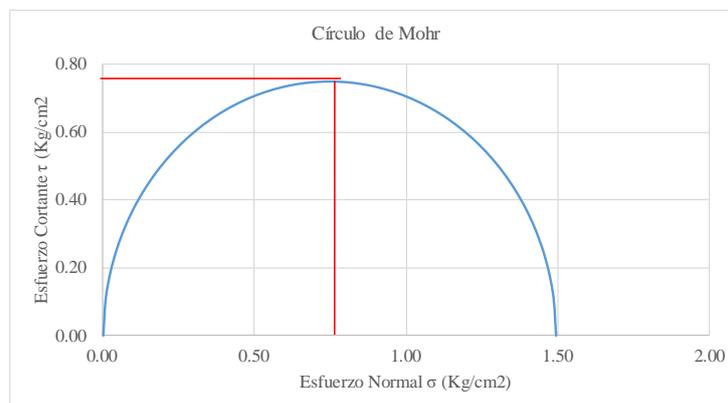
Esfuerzos			
Esfuerzo máximo	σ	1.50	(Kg/cm ²)
Esfuerzo	σ_1	1.50	(Kg/cm ²)
Esfuerzo de ensayo	σ_3	0	(Kg/cm ²)
Origen	o_1	0.75	
Radio	r_1	0.75	

Tabla N°104.- Esfuerzos normales y cortantes para suelo congelado a -5 °C

Grados	Radianes	Esfuerzo Normal σ (Kg/cm ²)	Esfuerzo Cortante τ (Kg/cm ²)
0	0.000	1.495	0.000
10	0.175	1.484	0.130
20	0.349	1.450	0.256
30	0.524	1.395	0.374
40	0.698	1.320	0.481
50	0.873	1.228	0.573
60	1.047	1.121	0.647
70	1.222	1.003	0.703
80	1.396	0.877	0.736
90	1.571	0.748	0.748
100	1.745	0.618	0.736
110	1.920	0.492	0.703
120	2.094	0.374	0.647
130	2.269	0.267	0.573
140	2.443	0.175	0.481
150	2.618	0.100	0.374
160	2.793	0.045	0.256
170	2.967	0.011	0.130
180	3.142	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°107.- Círculo de Mohr para suelo congelado a -5 °C



Fuente: Elaboración Propia

Cohesión	0.75	kg/cm ²
----------	------	--------------------



Tabla N°105.- Datos para compresión simple de suelo congelado a -10 °C

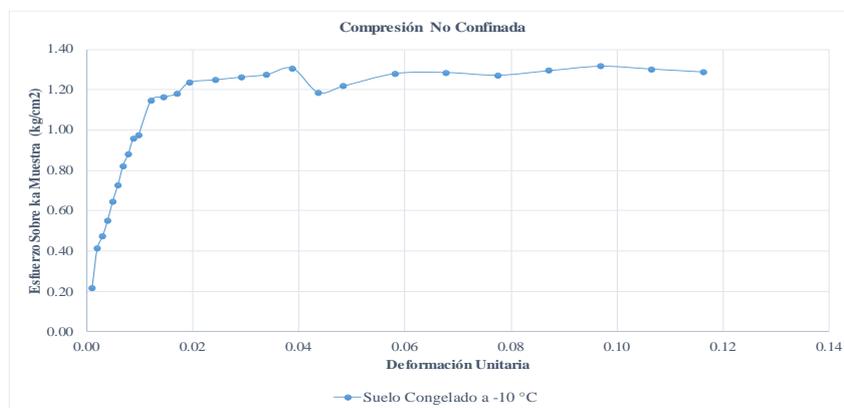
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
Título de Tesis:	"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SANJERONIMO CUSCO 2022"
Ensayo:	Compresión No Confinada
Ubicación:	km 14.650 de la carretera CU-123
Responsable:	Mauro Baca Noa
Descripción de Muestra:	Suelo Congelado a Temperatura de -10 °C
Referencia:	MTC E 121 Compresión No Confinada
Fecha de Ensayo:	29/03/2023

Dimensiones de la muestra			Dimensiones de la muestra		
Diámetro	52.05	mm	Peso	410.76	gr
Altura Lo	103.2	mm	Peso Unitario Húmedo	1.87	gr/cm ³
Área	21.28	cm ²	Contenido de Humedad	13.62	%
Volumen	219.59	cm ³	Peso Unitario Seco	1.65	gr/cm ³

Deformímetro de Longitud	Deformímetro de Carga	Carga total Sobre la Muestra	Deformímetro de la Muestra Δ L	Deformación Unitaria Δ L/L0	Factor de Corrección de Área (1-Δ L) / L0	Área Corregida A'	Esfuerzo Sobre la Muestra
	M-01	M-01					M-01
*0.01 mm	*0.419 kg	kg	mm			cm ²	kg/cm ²
10	11	4.59	0.10	0.001	0.999	21.30	0.22
20	21	8.76	0.20	0.002	0.998	21.32	0.41
30	24	10.02	0.30	0.003	0.997	21.34	0.47
40	28	11.68	0.40	0.004	0.996	21.36	0.55
50	33	13.77	0.50	0.005	0.995	21.38	0.65
60	37	15.44	0.60	0.006	0.994	21.40	0.72
70	42	17.53	0.70	0.007	0.993	21.42	0.82
80	45	18.78	0.80	0.008	0.992	21.44	0.88
90	49	20.45	0.90	0.009	0.991	21.47	0.96
100	50	21.70	1.00	0.010	0.990	21.49	0.98
125	59	24.62	1.25	0.012	0.988	21.54	1.15
150	60	27.96	1.50	0.015	0.985	21.59	1.16
175	61	31.30	1.75	0.017	0.983	21.65	1.18
200	64	33.38	2.00	0.019	0.981	21.70	1.24
250	65	38.39	2.50	0.024	0.976	21.81	1.25
300	66	42.56	3.00	0.029	0.971	21.92	1.26
350	67	45.90	3.50	0.034	0.966	22.02	1.27
400	69	47.57	4.00	0.039	0.961	22.14	1.31
450	63	51.74	4.50	0.044	0.956	22.25	1.19
500	65	53.41	5.00	0.048	0.952	22.36	1.22
600	69	54.67	6.00	0.058	0.942	22.59	1.28
700	70	45.48	7.00	0.068	0.932	22.83	1.28
800	70	40.48	8.00	0.078	0.922	23.07	1.27
900	72	37.14	9.00	0.087	0.913	23.31	1.29
1000	74	32.97	10.00	0.097	0.903	23.56	1.32
1100	74	30.88	11.00	0.107	0.893	23.82	1.30
1200	74	30.88	12.00	0.116	0.884	24.08	1.29

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°108.- Grafica de compresión simple para suelo congelado a -10 °C



Fuente: Elaboración Propia



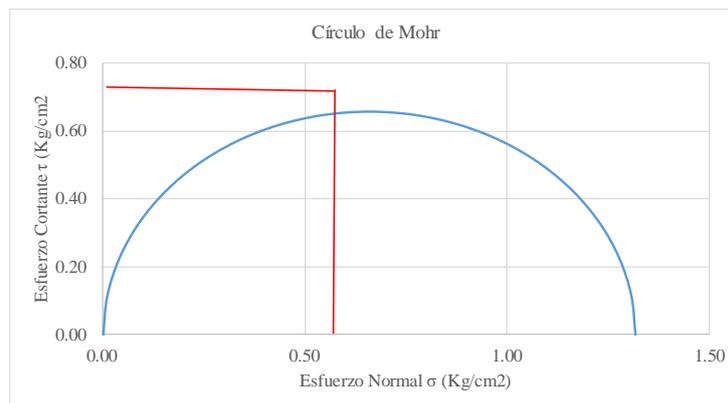
Esfuerzos			
Esfuerzo máximo	σ	1.32	(Kg/cm ²)
Esfuerzo	σ_1	1.32	(Kg/cm ²)
Esfuerzo de ensayo	σ_3	0	(Kg/cm ²)
Origen	σ_1	0.66	
Radio	r_1	0.66	

Tabla N°106.- Esfuerzo normales y cortantes para suelo congelado a -10 °C

Grados	Radianes	Esfuerzo Normal σ (Kg/cm ²)	Esfuerzo Cortante τ (Kg/cm ²)
0	0.000	1.316	0.000
10	0.175	1.306	0.114
20	0.349	1.276	0.225
30	0.524	1.228	0.329
40	0.698	1.162	0.423
50	0.873	1.081	0.504
60	1.047	0.987	0.570
70	1.222	0.883	0.618
80	1.396	0.772	0.648
90	1.571	0.658	0.658
100	1.745	0.544	0.648
110	1.920	0.433	0.618
120	2.094	0.329	0.570
130	2.269	0.235	0.504
140	2.443	0.154	0.423
150	2.618	0.088	0.329
160	2.793	0.040	0.225
170	2.967	0.010	0.114
180	3.142	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°109.- Círculo de Mohr para suelo congelado a -10 °C



Fuente: Elaboración Propia

Cohesión	0.66	kg/cm ²
----------	------	--------------------



Capítulo IV: Resultados

4.1 Comparación del Peso Específico

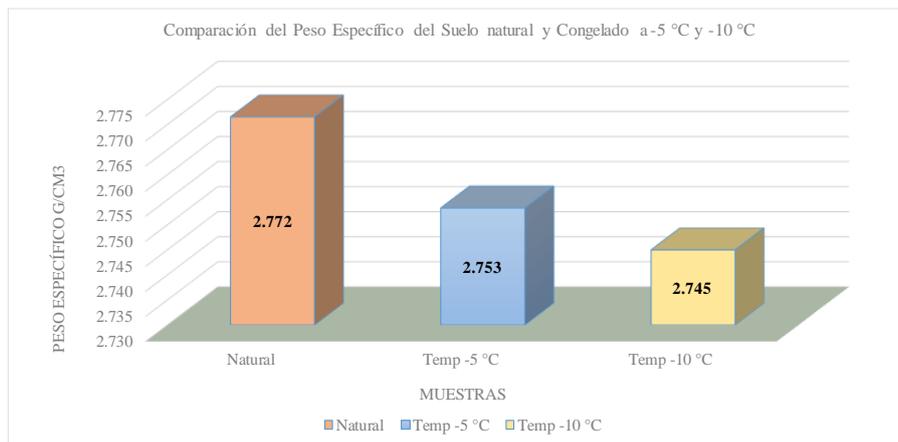
Tabla N°107.- Resumen de resultados de los ensayos de Peso Específico.

Comparación de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C			
Temperatura de Congelamiento	Natural	Temp -5 °C	Temp -10 °C
Peso Específico	2.772 g/cm ³	2.753 g/cm ³	2.745 g/cm ³

Fuente: Elaboración Propia

Se tiene los siguientes resultados: Para el suelo natural su peso específico es de 2.772 g/cm³ comparando con un suelo congelado a -5 °C su peso específico es de 2.753 g/cm³, existiendo un descenso en un 0.69%, lo cual nos indica a menor peso específico el suelo de la subrasante menor es su compactación, mientras para un congelamiento a -10 °C se tiene un peso específico de 2.745 g/cm³ creándose una disminución del 0.97% en relación con el suelo natural, disminuyendo el suelo de la subrasante su resistencia a la fuerza cortante.

Figura N°110.- Comparación del Peso Específico de Suelo Natural con Suelo Congelado a -5 °C y -10 °C.



Fuente: Elaboración Propia

Este descenso del 0.019 g/cm³ es debido al tiempo de cinco días de congelamiento del suelo de la subrasante y de 0.027 g/cm² en diez días de congelamiento, cuya disminución no es tan significativa en los cambios en los cambios volumétricos de la subrasante.



4.2 Comparación del Contenido de Humedad

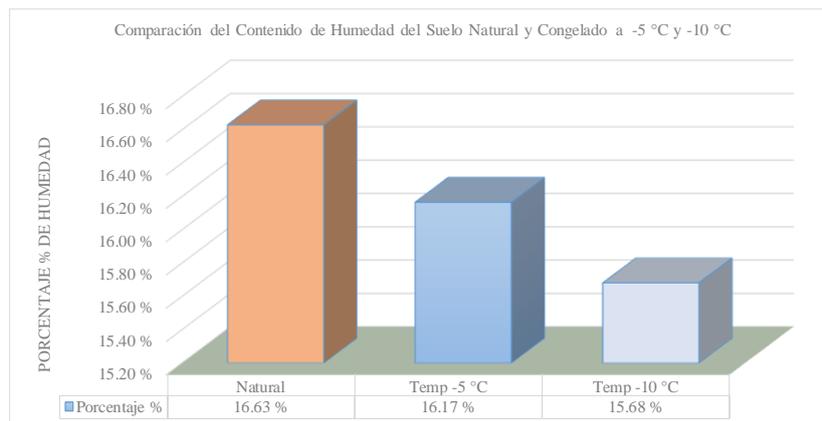
Tabla N°108.- Resumen de resultados de ensayo de contenido de humedad.

Comparación de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C			
Temperatura de Congelamiento	Natural	Temp -5 °C	Temp -10 °C
Porcentaje de Humedad	16.63 %	16.17 %	15.68 %

Fuente: Elaboración Propia

El contenido de humedad del suelo natural es de 16.63 % de humedad, comparado con el suelo congelado a -5 °C es de 16.17% de humedad existiendo un descenso en un 2.77 % el cual nos indica que el suelo de la subrasante necesita menor cantidad de agua para alcanzar su compactación máxima.

Figura N°111.- Comparación de Contenido de Humedad de Suelo Congelado a -5 °C y -10 °C



Fuente: Elaboración Propia

Para un suelo sometido a congelamiento de -10 °C su contenido de humedad es 15.68 % por debajo del suelo congelado a -5 °C y del suelo natural, esto nos indica que el suelo de la subrasante sufre un proceso de hinchamiento por retención de mayor cantidad de agua en sus partículas creándose baches y hundimientos en la carretera.



4.3 Comparación de los Límites de Consistencia

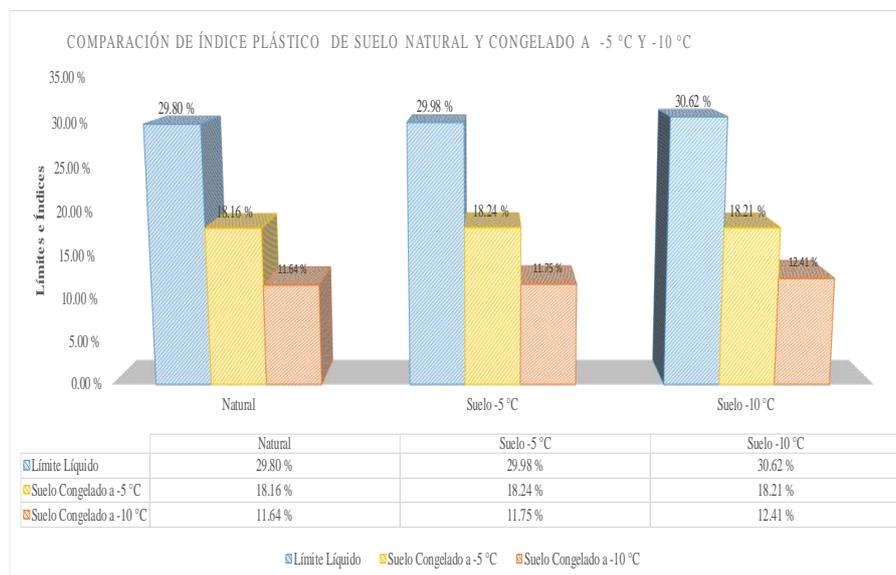
Tabla N°109.- Resuena de resultados de ensayo de límites de consistencia.

Muestras	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plástico
Natural	29.80 %	18.16 %	11.64 %
Suelo -5 °C	29.98 %	18.24 %	11.75 %
Suelo -10 °C	30.62 %	18.21 %	12.41 %

Fuente: Elaboración Propia

De los resultados del ensayo de Límites de Consistencia se tiene: para el suelo natural el Límite Líquido es 29.80%, Límite Plástico es 18.16% y su Índice de Plasticidad es de 11.64%. En tanto de un suelo congelado a -5 °C su límite líquido es 29.98%, límite plástico es 18.24% y su índice de plasticidad de 11.75%, existiendo un incremento en el límite de consistencia del suelo para subrasante produciéndose una expansión o hinchamiento.

Figura N°112.- Comparación de Límite Líquido Plástico e Índice de Plasticidad de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C



Fuente: Elaboración Propia

De los resultados para un suelo congelado a -10 °C el Límite Líquido es 30.62%, límite plástico es 18.21% y su Índice de Plasticidad es de 12.41%, comparando con un suelo natural se tiene el incremento en un 0.77%. en su índice de plasticidad concentrando mayor cantidad de agua la capa de subrasante produciéndose un incremento en su velocidad de expansión



perdiendo estabilidad y resistencia ya que el valor de I.P. es superior a 12% permitido para carreteras no pavimentadas.

4.4 Comparación de la Capacidad de Soporte CBR

Tabla N°110.- Comparación del CBR de Compactación de Suelo Natural Congelado a -5 °C y -10 °C

Datos de Ensayo de Compactación para CBR							
Muestras		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
Número de Golpes	Unidades	55		26		12	
Ubicación del contenido de humedad		Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Condición de la Muestra		No Satur.	Saturado	No Satur.	Saturado	No Satur.	Saturado
Datos de Compactación de CBR para Suelo Natural							
Contenido de Humedad	%	15.83 %	17.58 %	16.27 %	18.41 %	15.80 %	19.40 %
Porcentaje de Absorción			1.75 %		2.14 %		3.60 %
Densidad Húmeda	gr/cm3	2.17	2.23	2.11	2.18	2.01	2.11
Densidad Seca	gr/cm3	1.87	1.89	1.82	1.84	1.74	1.77
Datos de Compactación de CBR para Suelo Congelado a -5 °C							
Contenido de Humedad	%	17.11 %	18.16 %	17.64 %	19.42 %	18.11 %	20.32 %
Porcentaje de Absorción			1.05 %		1.78 %		2.21 %
Densidad Húmeda	gr/cm3	2.25	2.29	2.22	2.29	2.11	2.20
Densidad Seca	gr/cm3	1.92	1.94	1.89	1.91	1.79	1.83
Datos de Compactación de CBR para Suelo Congelado a -10 °C							
Contenido de Humedad	%	18.09 %	19.53 %	18.89 %	21.86 %	21.41 %	25.00 %
Porcentaje de Absorción			1.44 %		2.97 %		3.59 %
Densidad Húmeda	gr/cm3	2.30	2.37	2.26	2.39	2.21	2.33
Densidad Seca	gr/cm3	1.94	1.98	1.90	1.96	1.82	1.87

Fuente: Elaboración Propia

Para el Contenido de Humedad del ensayo para CBR se produce un incremento de 15.83%, 17.11% a un 18.09%, ocurriendo lo mismo en su condición saturada de 17.58%, 18.16% a un 19.53% del suelo natural al suelo congelado a -5 °C y -10 °C para 55 golpes del ensayo de CBR.

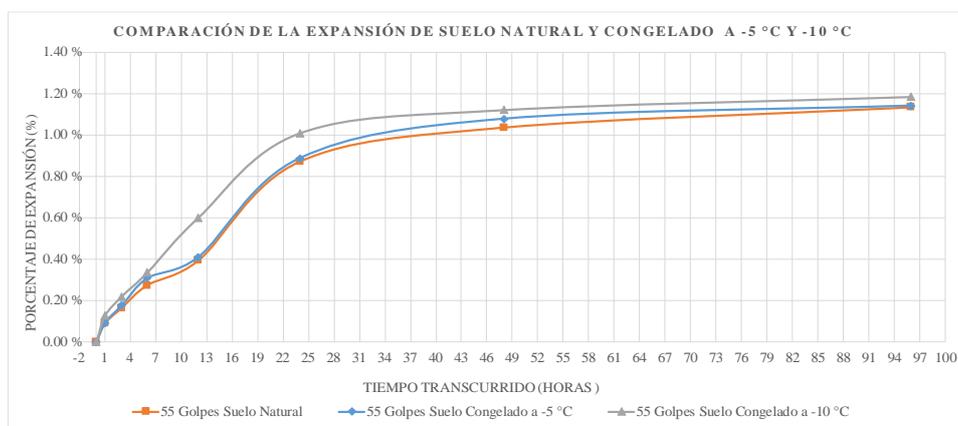
Tabla N°111.- Comparación de la Expansión del CBR para 55 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C

Tiempo Acumulado			Suelo Natural			Suelo Congelado a -5 °C			Suelo Congelado a -10 °C		
			Molde N°1			Molde N°1			Molde N°1		
			Dial *	Hinchamiento		Dial *	Hinchamiento		Dial *	Hinchamiento	
Días	Horas	Minutos	0.001"	(mm)	%	0.001"	(mm)	%	0.001"	(mm)	%
0	0	0.0	0	0	0.00 %	0	0	0.00 %	0	0	0.00 %
0.0625	1	60.0	4	0.102	0.09 %	4.5	0.106	0.09 %	5	0.145	0.12 %
0.125	3	180.0	7.5	0.191	0.16 %	6.5	0.205	0.18 %	7.4	0.255	0.22 %
0.25	6	360.0	12.5	0.318	0.27 %	13.5	0.358	0.31 %	14.2	0.389	0.33 %
0.5	12	720.0	18	0.457	0.39 %	19	0.477	0.41 %	20.5	0.698	0.60 %
1	24	1440.0	40	1.016	0.87 %	39	1.036	0.89 %	41.5	1.175	1.01 %
2	48	2880.0	47.5	1.207	1.04 %	48.5	1.257	1.08 %	51.2	1.305	1.12 %
4	96	5760.0	52	1.321	1.13 %	55	1.331	1.14 %	60.4	1.379	1.18 %

Fuente: Elaboración Propia

El esponjamiento del suelo para la subrasante para el CBR de 55 golpes se incrementa de 1.13%, 1.14% a un 1.18% con relación al suelo natural y congelado a -5 °C y -10 °C produciéndose un ligero hinchamiento del suelo en la subrasante por la absorción de agua en las partículas de la muestra generando baches en la carretera disminuyendo su capacidad de soporte de la carretera.

Figura N°113.- Gráfica de la comparación de la Expansión del CBR para 55 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C



Fuente: Elaboración Propia

La grafica muestra que el suelo de la subrasante sometida a congelamiento a -10 °C es la que tiene mayor esponjamiento en relación a suelo natural y congelado a -5 °C, para la muestra de 55 golpes, debido a la absorción de agua en la subrasante.

Tabla N°112.- Comparación de la Expansión del CBR para 26 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C

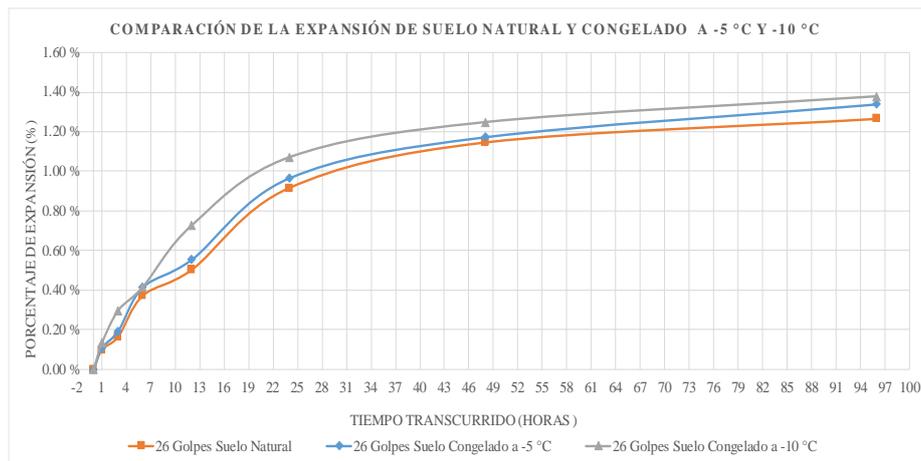
Tiempo Acumulado			Suelo Natural			Suelo Congelado a -5 °C			Suelo Congelado a -10 °C		
			Molde N°1			Molde N°1			Molde N°1		
			Dial * 0.001"	Hinchamiento		Dial * 0.001"	Hinchamiento		Dial * 0.001"	Hinchamiento	
Días	Horas	Minutos	(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%			
0	0	0.0	0	0	0.00 %	0	0	0.00 %	0	0	0.00 %
0.0625	1	60.0	4.5	0.114	0.10 %	5	0.124	0.11 %	5.9	0.154	0.13 %
0.125	3	180.0	7.5	0.191	0.16 %	7.5	0.225	0.19 %	8.5	0.345	0.30 %
0.25	6	360.0	17	0.432	0.37 %	17	0.482	0.41 %	18.2	0.482	0.41 %
0.5	12	720.0	23	0.584	0.50 %	23	0.645	0.55 %	15.4	0.845	0.73 %
1	24	1440.0	42	1.067	0.92 %	42	1.127	0.97 %	45.2	1.246	1.07 %
2	48	2880.0	52.5	1.334	1.15 %	52.5	1.369	1.17 %	57.2	1.452	1.25 %
4	96	5760.0	58	1.473	1.27 %	58	1.563	1.34 %	64.2	1.604	1.38 %

Fuente: Elaboración Propia



El esponjamiento del suelo de la subrasante para el CBR de 26 golpes se incrementa de 1.27%, 1.34% a un 1.38% con relación al suelo natural y congelado a -5 °C y -10 °C produciéndose un ligero hinchamiento del suelo en la subrasante por la absorción de agua en las partículas de la muestra generando baches en la carretera disminuyendo su capacidad de soporte la carretera.

Figura N°114.- Gráfica de la comparación de la Expansión del CBR para 26 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C



Fuente: Elaboración Propia

La grafica muestra que el suelo de la subrasante sometida a congelamiento a -10 °C es la que tiene mayor esponjamiento en relación a suelo natural y congelado a -5 °C, para la muestra de 26 golpes, debido a la absorción de agua en subrasante.

Tabla N°113.- Comparación de la Expansión del CBR para 12 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C

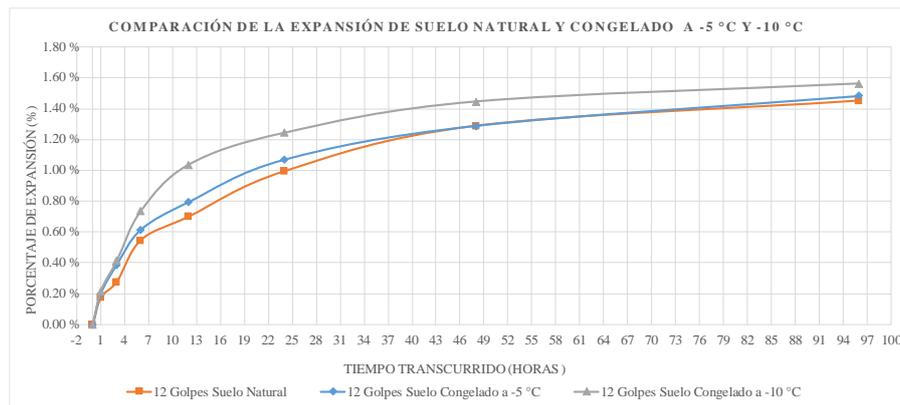
Tiempo Acumulado			Suelo Natural			Suelo Congelado a -5 °C			Suelo Congelado a -10 °C		
			Molde N°1			Molde N°1			Molde N°1		
			Dial *	Hinchamiento		Dial *	Hinchamiento		Dial *	Hinchamiento	
Días	Horas	Minutos	0.001"	(mm)	%	0.001"	(mm)	%	0.001"	(mm)	%
0	0	0.0	0	0	0.00 %	0	0	0.00 %	0	0	0.00 %
0.0625	1	60.0	8	0.203	0.17 %	8.5	0.233	0.20 %	9.2	0.253	0.22 %
0.125	3	180.0	13.8	0.321	0.28 %	14.5	0.451	0.39 %	17.5	0.481	0.41 %
0.25	6	360.0	25	0.635	0.55 %	26	0.715	0.61 %	28.2	0.855	0.73 %
0.5	12	720.0	32	0.813	0.70 %	35	0.925	0.79 %	38.2	1.205	1.04 %
1	24	1440.0	45.5	1.156	0.99 %	48.2	1.246	1.07 %	52.4	1.446	1.24 %
2	48	2880.0	59	1.499	1.29 %	62.5	1.502	1.29 %	68.4	1.682	1.45 %
4	96	5760.0	66.5	1.689	1.45 %	68	1.728	1.48 %	70.4	1.818	1.56 %

Fuente: Elaboración Propia



El esponjamiento del suelo para la subrasante para el CBR de 12 golpes se incrementa de 1.45%, 1.48% a un 1.56% con relación al suelo natural y congelado a -5 °C y -10 °C produciéndose un ligero hinchamiento del suelo en la subrasante por la absorción de agua en las partículas de la muestra generando baches en la carretera.

Figura N°115.- Grafica de la comparación de la Expansión del CBR para 12 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C



Fuente: Elaboración Propia

La grafica muestra que el suelo de la subrasante sometida a congelamiento a -10 °C es la que tiene mayor esponjamiento en relación a suelo natural y congelado a -5 °C, para la muestra de 12 golpes, debido a la absorción de agua de la subrasante.

Tabla N°114.- Comparación de la Penetración del CBR para 55 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C

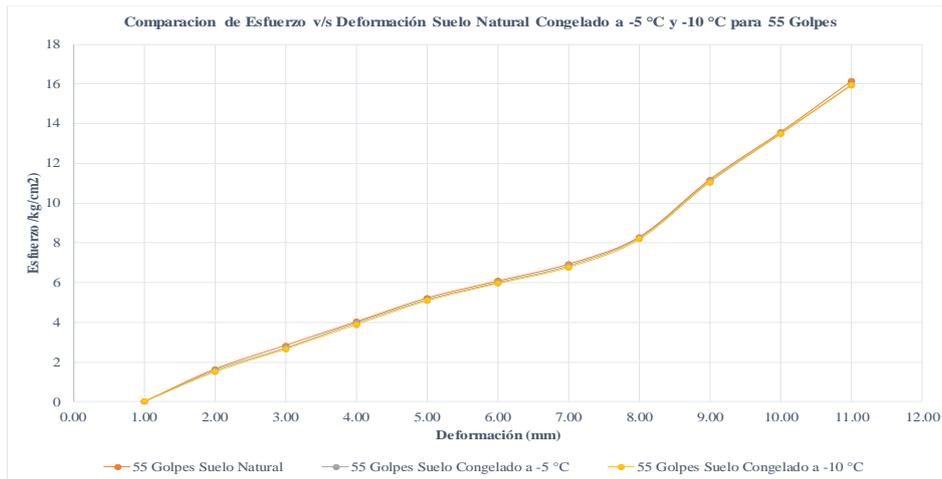
Penetración		Suelo Natural			Suelo Congelado a -5 °C			Suelo Congelado a -10 °C		
		Molde N°1			Molde N°1			Molde N°1		
		55 Golpes			55 Golpes			55 Golpes		
(mm)	pulg	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)
0.00	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.63	0.025	6	31.76	1.64	5	30.45	1.57	4	28.97	1.50
1.27	0.050	13	54.85	2.83	12	52.58	2.72	11	51.24	2.65
1.91	0.075	20	77.93	4.03	19	76.83	3.97	17	75.15	3.88
2.54	0.100	27	101.02	5.22	25	99.58	5.15	13	98.25	5.08
3.17	0.125	32	117.52	6.07	31	116.25	6.01	29	115.01	5.94
3.81	0.150	37	134.01	6.93	35	132.58	6.85	33	130.89	6.76
5.08	0.200	45	160.39	8.29	43	159.86	8.26	42	158.12	8.17
7.62	0.300	62	216.47	11.19	61	215.45	11.13	60	213.87	11.05
10.16	0.400	76	262.65	13.57	75	261.75	13.53	73	260.74	13.47
12.70	0.500	91	312.12	16.13	89	309.42	15.99	87	308.06	15.92

Fuente: Elaboración Propia



Para la penetración de CBR para 55 golpes existe un descenso de 5.22 kg/cm², a 5.15 kg/cm² y de 5.08 kg/cm² del suelo natural al suelo congelado a -5 °C y de -10 °C produciéndose una pérdida en su penetrabilidad siendo menor su capacidad de carga del suelo de la subrasante.

Figura N°116.- Gráfica de la Comparación de la Penetración del CBR para 55 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C



Fuente: Elaboración Propia

La grafica muestra que el suelo natural y congelado para la subrasante tiende a disminuir ligeramente produciéndose una pérdida en su penetrabilidad siendo menor su capacidad de carga del suelo de la subrasante.

Tabla N°115.- Comparación del CBR y Densidad Seca para 55 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C

Comparación del CBR & Densidad Seca de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y 10 °C para 55 golpes		
Numero de Golpes	0.1" = 2.54 mm	Densidad Seca g/cm ³
55 Golpes Suelo Natural	7.319 %	1.87 g/cm ³
55 Golpes Suelo Congelado a -5 °C	7.319 %	1.92 g/cm ³
55 Golpes Suelo Congelado a -10 °C	7.222 %	1.94 g/cm ³

Fuente: Elaboración Propia

El CBR y Densidad Seca para la penetración de una muestra a 55 golpes en 0.1", varían al descenso de 7.319%, 7.319% a un 7.222% para suelo natural y congelado a -5 °C y



de -10 °C estos resultados están dentro de la clasificación de S2 subrasante regular que comprende para CBR de 6% a 10 % según MTC.

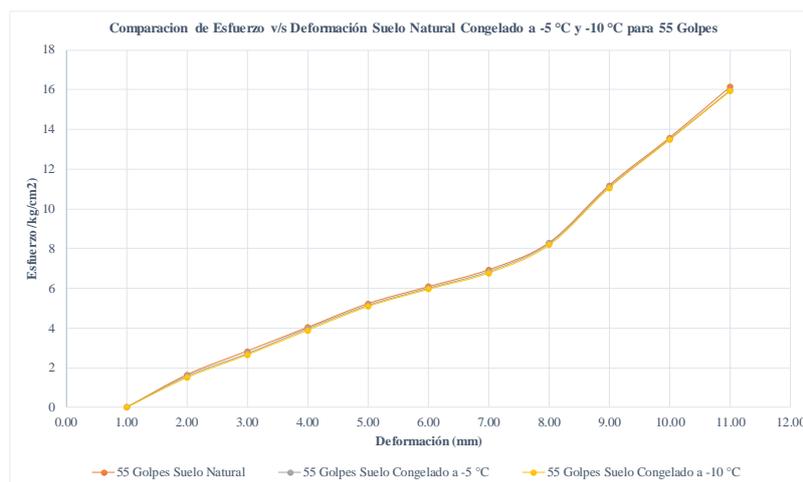
Tabla N°116.- Comparación de la Penetración del CBR para 26 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C

Penetración		Suelo Natural			Suelo Congelado a -5 °C			Suelo Congelado a -10 °C		
		Molde N°2			Molde N°2			Molde N°2		
		26 Golpes			26 Golpes			26 Golpes		
(mm)	pulg	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)
0.00	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.63	0.025	5	28.46	1.47	4	27.48	1.42	3	25.89	1.34
1.27	0.050	12	51.55	2.66	11	50.46	2.61	10	49.56	2.56
1.91	0.075	18	71.34	3.69	17	69.75	3.60	15	67.45	3.49
2.54	0.100	24	91.13	4.71	22	89.78	4.64	20	87.56	4.53
3.17	0.125	29	107.62	5.56	27	105.85	5.47	25	104.23	5.39
3.81	0.150	33	120.81	6.24	32	117.96	6.10	31	115.89	5.99
5.08	0.200	40	143.9	7.44	38	142.92	7.39	37	139.87	7.23
7.62	0.300	52	183.48	9.48	51	182.15	9.41	49	180.76	9.34
10.16	0.400	61	213.17	11.02	59	211.52	10.93	56	210.12	10.86
12.70	0.500	74	256.05	13.23	72	254.62	13.16	69	252.49	13.05

Fuente: Elaboración Propia

Para la penetración de CBR para 26 golpes existe un descenso de 4.71 kg/cm², a 4.64 kg/cm² aun 4.53 kg/cm², del suelo natural al suelo congelado a -5 °C y de -10 °C produciéndose una pérdida en su penetrabilidad siendo menos resistente a su capacidad de carga.

Figura N°117.- Gráfica de la Comparación de la Penetración del CBR para 26 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C



Fuente: Elaboración Propia

La grafica muestra que el suelo natural y congelado para la subrasante tiende a disminuir ligeramente, produciéndose una pérdida en su penetrabilidad siendo menos resistente a su capacidad de carga.



Tabla N°117.- Comparación del CBR y Densidad Seca para 26 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C

Comparación del CBR & Densidad Seca de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y 10 °C para 26 golpes		
Numero de Golpes	0.1" = 2.54 mm	Densidad Seca g/cm3
26 Golpes Suelo Natural	6.698 %	1.82 g/cm3
26 Golpes Suelo Congelado a -5 °C	6.599 %	1.89 g/cm3
26 Golpes Suelo Congelado a -10 °C	6.436 %	1.90 g/cm3

Fuente: Elaboración Propia

El CBR y Densidad Seca para la penetración de una muestra a 26 golpes en 0.1", varían al descenso de 6.98%, 6.599% aun 6.436% para suelo natural y congelado a -5 °C y de -10 °C estos resultados están dentro de la clasificación de S2 subrasante regular que comprende para CBR de 6% a 10 según MTC.

Tabla N°118.- Comparación de la Penetración del CBR para 12 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C

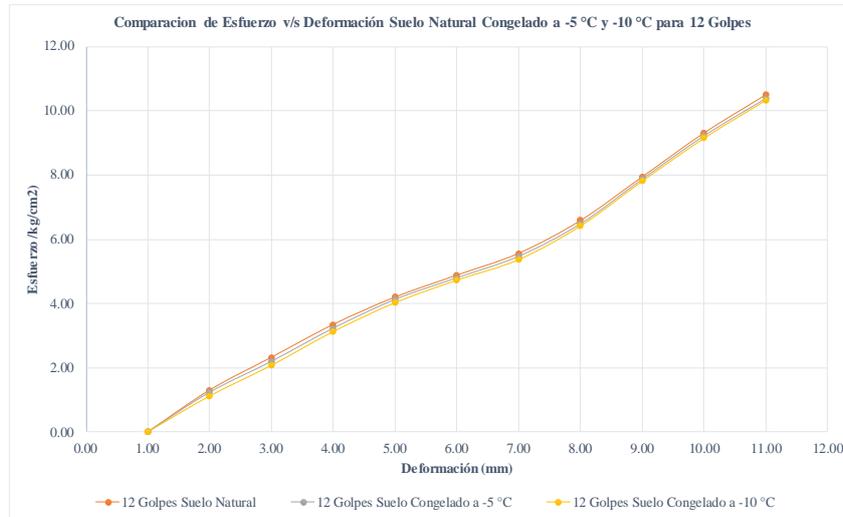
Penetración		Suelo Natural			Suelo Congelado a -5 °C			Suelo Congelado a -10 °C		
		Molde N°3			Molde N°3			Molde N°3		
		12 Golpes			12 Golpes			12 Golpes		
(mm)	pulg	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)	Dial	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm2)
0.00	0.000	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
0.63	0.025	4	25.16	1.30	3	23.85	1.23	2	21.56	1.11
1.27	0.050	10	44.95	2.32	8	42.51	2.20	7	40.12	2.07
1.91	0.075	16	64.74	3.35	15	62.49	3.23	13	60.45	3.12
2.54	0.100	21	81.23	4.20	19	79.85	4.13	18	77.85	4.02
3.17	0.125	25	94.43	4.88	23	92.89	4.80	22	91.46	4.73
3.81	0.150	29	107.62	5.56	27	105.89	5.47	25	103.89	5.37
5.08	0.200	35	127.41	6.58	34	125.49	6.49	31	124.2	6.42
7.62	0.300	43	153.8	7.95	44	152.45	7.88	39	151.25	7.82
10.16	0.400	51	180.19	9.31	49	178.56	9.23	42	177.14	9.15
12.70	0.500	58	203.27	10.50	55	201.11	10.39	51	200.04	10.34

Fuente: Elaboración Propia

Para la penetración de CBR para 12 golpes existe un descenso de 4.20 kg/cm2, a 4.13 kg/cm2 y aun 4.02 kg/cm2 del suelo natural al suelo congelado a -5 °C y de -10 °C produciéndose una pérdida en su penetrabilidad siendo menor su capacidad de carga de la subrasante.



Figura N°118.- Gráfica de la Comparación de la Penetración del CBR para 12 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C



Fuente: Elaboración Propia

La grafica muestra que el suelo natural y congelado para la subrasante tiende a disminuir ligeramente produciéndose una perdida en su penetrabilidad siendo menor su capacidad de carga de la subrasante.

Tabla N°119.- Comparación del CBR y Densidad Seca para 12 golpes de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C

Comparación del CBR & Densidad Seca de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y 10 °C para 12 golpes		
Numero de Golpes	0.1" = 2.54 mm	Densidad Seca g/cm3
12 Golpes Suelo Natural	5.971 %	1.74 g/cm3
12 Golpes Suelo Congelado a -5 °C	5.869 %	1.79 g/cm3
12 Golpes Suelo Congelado a -10 °C	5.722 %	1.82 g/cm3

Fuente: Elaboración Propia

El CBR y Densidad Seca para la penetración de una muestra a 12 golpes en 0.1", varían al descenso de 5.971%, 5.869% a un 5.722% para suelo natural y congelado a -5 °C y de -10 °C estos resultados están dentro de la clasificación de S1 subrasante pobre que comprende para CBR de 3% a 5 % por la cual la subrasante sufre variaciones en su soporte de carga produciéndose baches y/o ahuellamientos en la carretera.



Tabla N°120.- Comparación del CBR al 95% de su MDS para suelo natural y congelado a -5 °C y -10 °C.

CBR Suelo Natural al 95%		
CBR al 100% de la MDS	7.66 %	2.54mm 0.1"
CBR al 95% de la MDS	6.65 %	
CBR Suelo Congelado a -5 °C al 95%		
CBR al 100% de la MDS	6.95 %	2.54mm 0.1"
CBR al 95% de la MDS	6.01 %	
CBR Suelo Congelado a -10°C al 95%		
CBR al 100% de la MDS	6.59 %	2.54mm 0.1"
CBR al 95% de la MDS	5.51 %	



4.5 Resultados de la Cohesión mediante la Compresión No Confinada

Tabla N°121.- Comparación de resultados de ensayo de Compresión Simple.

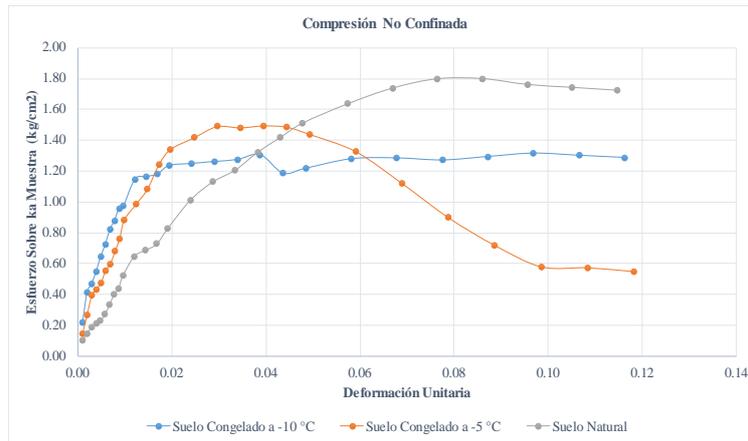
Comparación de Suelo Natural y Congelado a -5 °C y -10 °C					
Deformación Unitaria L/L0	Esfuerzo Sobre la Muestra M-01	Deformación Unitaria L/L0	Esfuerzo Sobre la Muestra M-01	Deformación Unitaria L/L0	Esfuerzo Sobre la Muestra M-01
0.001	0.11	0.001	0.15	0.001	0.22
0.002	0.15	0.002	0.27	0.002	0.41
0.003	0.19	0.003	0.39	0.003	0.47
0.004	0.21	0.004	0.43	0.004	0.55
0.005	0.23	0.005	0.47	0.005	0.65
0.006	0.27	0.006	0.56	0.006	0.72
0.007	0.34	0.007	0.60	0.007	0.82
0.008	0.40	0.008	0.68	0.008	0.88
0.009	0.44	0.009	0.76	0.009	0.96
0.010	0.52	0.010	0.88	0.010	0.98
0.012	0.65	0.012	0.98	0.012	1.15
0.014	0.69	0.015	1.08	0.015	1.16
0.017	0.73	0.017	1.24	0.017	1.18
0.019	0.83	0.020	1.34	0.019	1.24
0.024	1.01	0.025	1.42	0.024	1.25
0.029	1.13	0.030	1.49	0.029	1.26
0.033	1.21	0.034	1.48	0.034	1.27
0.038	1.32	0.039	1.50	0.039	1.31
0.043	1.42	0.044	1.49	0.044	1.19
0.048	1.51	0.049	1.44	0.048	1.22
0.057	1.64	0.059	1.33	0.058	1.28
0.067	1.74	0.069	1.12	0.068	1.28
0.076	1.80	0.079	0.90	0.078	1.27
0.086	1.80	0.089	0.72	0.087	1.29
0.096	1.76	0.099	0.58	0.097	1.32
0.105	1.74	0.108	0.57	0.107	1.30
0.115	1.72	0.118	0.55	0.116	1.29

Fuente: Elaboración Propia

Para una deformación de 0.076 cm se tiene un esfuerzo de 1.80 kg/cm2 para el suelo natural, disminuyendo la deformación en 0.039 cm se tiene un esfuerzo de 1.50 kg/cm2 para el suelo congelado a -5 °C y una deformación de 0.039 cm se tiene un esfuerzo de 1.39 kg/cm2, variación al descenso en las muestras perdiendo su capacidad de carga para la subrasante de la carretera.



Figura N°119.- Grafica comparativo de ensayo de Compresión Simple



Fuente: Elaboración Propia

De la gráfica se tiene, que el proceso de congelamiento de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ disminuye a partir de 0.04 cm de deformación y entre 1.20 kg/cm² y 1.60 kg/cm² de esfuerzo, disminuyendo su capacidad de carga incrementando sus deformaciones de la subrasante.

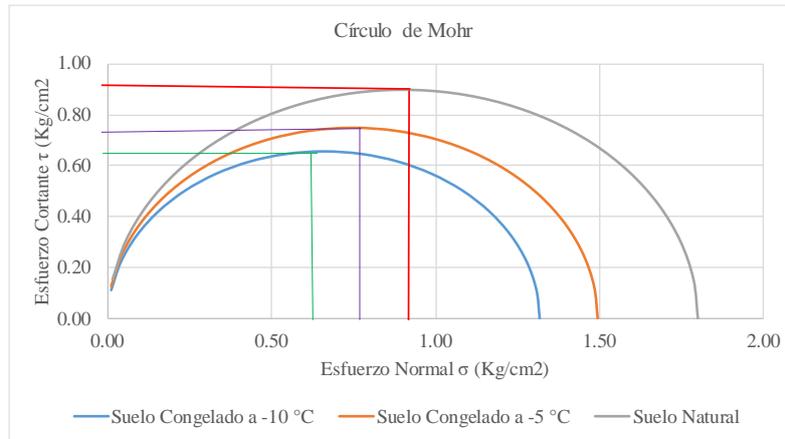
Tabla N°122.- Resumen de esfuerzos cortantes y normales para la Compresión Simple.

Comparación de Suelo Natural y Congelado a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$					
Esfuerzo Normal σ	Esfuerzo Cortante τ	Esfuerzo Normal σ	Esfuerzo Cortante τ	Esfuerzo Normal σ (Kg/cm ²)	Esfuerzo Cortante τ
1.799	0.000	1.495	0.000	1.316	0.000
1.786	0.156	1.484	0.130	1.306	0.114
1.745	0.308	1.450	0.256	1.276	0.225
1.679	0.450	1.395	0.374	1.228	0.329
1.589	0.578	1.320	0.481	1.162	0.423
1.478	0.689	1.228	0.573	1.081	0.504
1.350	0.779	1.121	0.647	0.987	0.570
1.207	0.845	1.003	0.703	0.883	0.618
1.056	0.886	0.877	0.736	0.772	0.648
0.900	0.900	0.748	0.748	0.658	0.658
0.743	0.886	0.618	0.736	0.544	0.648
0.592	0.845	0.492	0.703	0.433	0.618
0.450	0.779	0.374	0.647	0.329	0.570
0.321	0.689	0.267	0.573	0.235	0.504
0.210	0.578	0.175	0.481	0.154	0.423
0.121	0.450	0.100	0.374	0.088	0.329
0.054	0.308	0.045	0.256	0.040	0.225
0.014	0.156	0.011	0.130	0.010	0.114

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°120.- Grafica del círculo de Mohr para comparar la compresión simple de un suelo natural y congelado a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Fuente: Elaboración Propia

De la gráfica del Círculo de Mohr y comparando los Esfuerzos Normales con los Esfuerzos Cortantes para suelo natural y suelos congelados a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, se requiere menor carga para producir mayores deformaciones perdiendo su capacidad de carga la subrasante por la pérdida de adherencia entre sus partículas y podría llegar a fallar por esfuerzo cortante la subrasante.

Tabla N°123.- Comparación de la Cohesión de Suelo Natural y Congelado a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Muestra Suelo Natural			Muestra Suelo Congelado $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$			Muestra Suelo Congelado $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$		
qu	1.8	kg/cm ²	qu	1.49	kg/cm ²	qu	2.51	kg/cm ²
c	0.90	kg/cm ²	c	0.75	kg/cm ²	c	0.66	kg/cm ²
Cohesión	0.90	kg/cm ²	Cohesión	0.75	kg/cm ²	Cohesión	0.66	kg/cm ²

Fuente: Elaboración Propia

Comparando los resultados de la cohesión para suelo natural y congelado a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ su variación es ligera al descenso de 0.90 kg/cm^2 a 0.75 kg/cm^2 disminuyendo su capacidad de carga de la subrasante, a un 0.66 kg/cm^2 para el suelo congelado a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, este descenso la cohesión hace la subrasante se menor su capacidad de carga y tiene mayores deformaciones en la subrasante.



Capítulo V: Discusión

5.1 Contraste de Resultados con Referentes del Marco Teórico

Discusión 01: ¿Por qué se decidió congelar el suelo en el estudio de las propiedades físico mecánicas de un suelo arcilloso para subrasante en la carretera CU-123 entre la comunidad de Conchacalla y el abra de Occoruro del Distrito de San Jerónimo?

En el proceso de construcción de una carretera se presenta las condiciones de climas adversos a altitudes de por encima de los 3600 msnm. Razón por la cual se decidió en el presente trabajo de investigación simular el comportamiento del suelo natural sometido a procesos de congelamiento y descongelamiento para la subrasante en carreta no pavimentadas y ser comparados en sus propiedades Físicos Mecánicas con un suelo natural y en lo posterior tomar en cuenta dichos cambios para el diseño de una carpeta de rodadura.

Discusión 02: ¿Por qué se utilizó las temperaturas de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el congelamiento del suelo de la carretera CU-123 entre la comunidad de Conchacalla y el abra de Occoruro del Distrito de San Jerónimo?

De los datos obtenidos de SENAMHI (Estación Meteorológica de Kayra) para el índice de congelamiento se tiene una temperatura de $-6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a una altitud de 3200 msnm. en épocas de friaje comprendidos entre los meses de mayo y agosto. El trabajo de investigación se desarrolló por encima de los 3600 msnm. Razón por la cual se determinó la temperatura de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y por regionalización climática se tiene que por cada 154 m. de altitud se disminuye $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura por la pérdida de presión de cualquier gas. asumiendo la temperatura de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ para una altitud de 3957msnm. Que se encuentra la calicata número uno, además el Abra de Occoruro se encuentra a una altitud de 4213msnm. Existiendo un incremento de $6.578\text{ }^{\circ}\text{C}$ en 1013 msnm. En comparación de la Estación Meteorológica de Kayra. Y considerando un periodo prolongado de friaje que pueda darse en la zona, además por el cambio climático este proceso es variado.



Discusión 03: ¿Existe alguna comparación con los resultados obtenidos con los antecedentes de la investigación?

En comparación al primer antecedente en relación a los parámetros de las propiedades físico mecánicas es la de disminuir a medida que pasan los días de congelamiento de las muestras, en comparación de la compresión no confinada está en relación de 0.796 kg/cm² a una disminución de 0.582 kg/cm² disminuyendo un 27% en la compresión simple en relación a la cohesión es de un 0.398 kg/cm² existiendo un descenso en un 0.292 kg/cm².

En comparación con el primer antecedente respecto a los parámetros físico mecánicos se coinciden en que disminuyen con los días de congelamiento y descongelamiento, el sometimiento a las temperaturas de congelamiento, en relación a la compresión no confinada nuestros resultados son de 1.90 kg/cm² del suelo natural, la del suelo congelado a -5 °C es de 0.75 kg/cm² en un periodo de cinco días de congelamiento mientras del suelo congelado a -10 °C la compresión no confinada es de 0.66 kg/cm² existiendo una disminución en los primeros días de congelamiento y a media que se incrementa el proceso, este valor va disminuyendo.

Para el segundo antecedente para el CBR al 95% de MDS vario de un 3.87% a un incremento de 6.95% muestras su C.H.O. disminuyo de 8.30% a un 8.21% disminuyendo en 7.85% y 7.48% y en relación de su M.D.S. aumento de 1.38 gr/cm³ a 1.41 gr/cm³ hasta un 1.55 gr/cm³ y de 1.47 gr/cm³. Muestras sometidas con adición de grasa orgánicas para este trabajo de investigación.

En comparación con el antecedente en relación del CBR al 95% disminuye de 6.65% del suelo natural y 6.01% hasta un 5.51% para suelo congelado a -5 °C y -10 °C, mientras en el valor de MDS se incrementa en 1.81 gr/cm³ del suelo natural a un 1.86 gr/cm³ del suelo congelado a -5 °C hasta un valor de 1.89 gr/cm³ para el suelo sometido a congelamiento de -10 °C. En concordancia de la comparación se tiene la similitud de la disminución de los valores.

Para el tercer antecedente en el contenido de humedad de 5.98% a un 9.80% de humedad de las muestras y en el CBR se tiene un incremento de 8.4% a un 11.4% ya que estas muestras son añadidas con PET que son partículas de Tereftalato de Polietileno.



Comparando con el trabajo de investigación se tiene para el contenido de humedad va en descenso de 16.63% del suelo natural a un 16.17% del suelo congelado a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta un 15.68% para un suelo congelado a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, existiendo un incremento en los primeros días y mientras más días se congela la muestra disminuye el valor del contenido de humedad. Para el CBR al 95% su disminución es de 6.65% a 6.01% y de 5.51% para el suelo natural y congelado a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Discusión 04: ¿Cómo se determinó los días de congelamiento del suelo de la carretera CU-123 entre la comunidad de Conchacalla y el abra de Occoruro del Distrito de San Jerónimo?

Para los días de congelamiento y descongelamiento se determinó en función de los datos obtenidos del SENAMHI. De acuerdo a los últimos cuatro años y de los meses más fríos y los días con menor temperatura que son de seis días se consideró los cinco primeros días donde la temperatura es en promedio entre $-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mientras para los diez días se contabilizo en promedio de doce a catorce días en un mes con las temperaturas más bajas por ello se tomó en cuenta los diez días para el proceso de congelamiento y descongelamiento del suelo para la subrasante en dicha carretera. Considerando la altitud a la que se encuentran las calicatas en estudio sobre los 3600 msnm.

5.2 Interpretación de los Resultados Encontrados en la Investigación

Discusión 05: ¿Por qué el Peso Específico del suelo congelado es variable?

Se tiene los siguientes resultados: del peso específico para suelo natural es de 2.772 g/cm^3 y de 2.753 g/cm^3 y 2.745% , (ver tabla N°-106 y grafico N°-106) de los suelos congelados, esta variación ligera en el peso específico de la subrasante, de 0.019 g/cm^2 para suelo congelado a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de 0.025 g/cm^3 para suelo congelado a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, en comparación con el suelo natural hace que su compactación sea menor y disminuya la fuerza cortante en la subrasante.



Discusión 06: ¿Por qué el Contenido de Humedad varía del suelo congelado?

Para el análisis del Contenido de Humedad se tiene los siguientes valores 16.63% para suelo natural de 16.17% y 15.68% (ver tabla N°-107 y figura N°-107) para suelo congelado de la subrasante. El descenso ligero se da en los primeros días de un 0.46% de humedad el suelo arcilloso contiene más agua haciendo que el suelo de la subrasante requiera mayor cantidad de agua para alcanzar su comparación máxima, mientras a mayor tiempo de congelamiento y menor temperatura su contenido de humedad desciende en un 0.95% por debajo de la humedad del suelo natural.

Discusión 07: ¿Por qué los Límites de Consistencia se incrementa del suelo congelado?

Los límites de consistencia para el presente trabajo de investigación corresponden a los límites líquidos y plásticos como el índice de plasticidad cuyos valores son 11.64% para suelo natural de 11.75% y 12.41% (ver tabla N°-108 y figura N°-108) para suelo congelado. La variación al incremento en los primeros días es de 0.11% del suelo para la subrasante teniendo más plasticidad el suelo en comparación del suelo natural produciendo movimientos verticales y horizontales haciendo que la carretera sea menos transitable. Y para un tiempo prolongado de congelamiento y menor temperatura es de 0.77% su I.P. en comparación con el suelo natural, incrementándose a un más los cambios volumétricos de la subrasante produciéndose un hinchamiento y/o rajaduras en la carretera.

Discusión 08: ¿Por qué la capacidad de soporte CBR disminuye del suelo congelado?

Con respecto a la capacidad de soporte CBR su disminución es de, 6.65% para suelo natural de 6.01% y 5.51% (ver tabla N°-114, tabla N°-116 y tabla N°-118) de suelo congelado, para -10 °C su valor está cercana a la clasificación de S1 subrasante pobre cuyo valor está entre 3% y 5%, esta subrasante se tiene que estabilizar si se pretende colocar estructura o mejorar la carpeta de rodadura. Mientras para el suelo congelado a -5 °C de suelo natural, el CBR están comprendidos en la clasificación S2 subrasante regular que está entre 6% y 10%. Esta variación del CBR en la subrasante de la carretera nos indica que el suelo soporta menor carga y aparecen deformaciones como baches y/o ahuellamiento.



Discusión 09: **¿Por qué la cohesión de un suelo congelado se disminuye?**

Para la cohesión se tiene los siguientes valores de 0.90 kg/cm² para suelo natural de 0.75 kg/cm² y 0.66 kg/cm² (ver tabla N°-121) para suelo congelado este descenso en los primeros días hace que el suelo de la subrasante pierda su capacidad de carga en un 0.15 kg/cm² por consiguiente la subrasante pierde su capacidad de carga, mientras a mayor tiempo congelamiento y menor temperatura el descenso es de 0.24 kg/cm² disminuyendo más su capacidad de carga y podría llegar a fallar por esfuerzo cortante el suelo de la subrasante.

5.3 Comentario de la Demostración de la Hipótesis

Discusión 10: **¿Los tiempos del proceso de congelamiento y la variación de las temperaturas hacen que varíen las propiedades físico mecánicas del suelo de la carretera CU-123 entre la comunidad de Conchacalla y el abra de Occoruro del Distrito de San Jerónimo?**

De los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación bajo los tiempos de cinco y diez días de congelamiento y descongelamiento a -5 °C y -10 °C de las muestras para cada ensayo han variado en algunos casos considerablemente como en los límites de consistencia, este cambio hace que la subrasante de carretera adquiere mayor plasticidad de lo normal produciendo una intransitabilidad en la vía. La disminución de la capacidad de soporte CBR adquiriendo mayor capacidad al esponjamiento produciéndose grietas y/o fisuras en la subrasante a su vez en el descenso ligero en la cohesión a través de los días de congelamiento y descongelamiento de las partículas de la subrasante pierde su capacidad de carga por la presencia de mayor cantidad de agua en las partículas de la subrasante.

5.4 Aporte de la Investigación

Discusión 11: **¿Qué aporte brinda la presente investigación en la ingeniería civil?**

El aporte de la presente investigación es saber que los suelos arcillosos comprendidos para la subrasante en carretera deben ser tratada (estabilizar) con mucha cautela ya que estos varían en sus propiedades físico mecánicas con relación al ser sometidas a procesos de congelamiento y descongelamiento por encima de los 3600 m.s.n.m. teniendo una variación climática por altitud. Se debe tratar el suelo de la subrasante ya sea introduciendo aditivos o



realizando una mejora de dicha capa para evitar esos movimientos verticales y horizontales en su composición volumétrica, antes de colocar cualquier estructura se flexible o rígida en las carretas afirmadas.

a) Incorporación de Temas Nuevos que se han Presentado Durante el Proceso de la Investigación que no Estaba Considerado Dentro de los Objetivos de la Investigación

Discusión 12: ¿Formas de estabilización de los suelos luego del proceso de congelamiento bajo diversos periodos de tiempos y temperaturas?

Luego de ver los resultados de los suelos arcillosos para subrasante en carreteras no pavimentadas y sus procesos de congelamiento y descongelamiento se debe de realizar una estabilización en la subrasante ya sea mecánicos, físicos químicos y bilógicos, antes de ser sometido a cualquier tipo de estructura vial.

Discusión 13: ¿Estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo arcilloso dentro de un proceso de congelamiento y descongelamiento?

Una de las observaciones del trabajo de investigación es no haber incorporado el estudio de las propiedades químicas de las partículas del suelo arcilloso ya que en su proceso de congelamiento y descongelamiento, a temperaturas iniciales es cambiante se incrementa o disminuir mientras en temperaturas menores a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y durante diez días disminuye en porcentajes mínimos, asumimos que un aves congelado las partículas de suelo ya no absorben más cantidad de agua en el interior de las partículas produciéndose una cristalización en la superficie de las partículas.



Glosario

Aparato Casagrande. - Cuchara de bronce colocada en un apoyo fijo que sirve de base de plástico o madera con una resiliencia tal que se deja caer una bolita de acero de 8 mm de diámetro, desde una altura de 25 cm y rebote entre un 75 y un 90% de su diámetro

Arcilla. - Suelo de granos finos que posee alta plasticidad a medida que se incrementa límites de contenido de humedad y secado al aire libre adquiere una resistencia importante.

Calicata. - Exploración que se hace en cimentaciones de edificios, muros, caminos, carreteras etc., para determinar la clasificación de los materiales constituyentes de los suelos a través de estratigrafía.

CBR. - El índice de capacidad de soporte CBR es la relación entre la presión o fuerza necesaria para hacer penetrar un pistón en una muestra de suelo compactada de molde cilíndrico.

Coefficiente de Uniformidad de un Suelo. - Coeficiente que sirve para la graduación de un suelo. Se determina como $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$.

Cohesión (suelo). - Fuerza de unión del suelo a través de sus partículas. En los suelos cohesivos la estructura depende del contenido de minerales arcillosos presentes y de las fuerzas que actúan entre ellos.

Cuarteo. - Es la forma manual o mecánica para reducir el tamaño original de una muestra de suelo, cuyo objetivo es obtener una muestra representativa del material y de un tamaño acorde a los requerimientos del ensayo a realizar.

Curva de Saturación. - Curva que relaciona la densidad seca de un suelo con la humedad de saturación de éste, para una densidad de partículas sólidas dada.

Densidad (suelos).- División entre la masa de un suelo y su volumen a una temperatura determinada cuya unidad de medida es kg/m³.

Densidad Compactada Húmeda. - Densidad de un suelo compactado, que se determina de la división entre la masa húmeda por su volumen.

Densidad Compactada Seca. - Densidad de un suelo compactado, que se determina dividiendo la masa seca por su volumen.



Densidad Máxima (Suelos). - Densidad de un suelo en el estado más denso que se puede obtener.

Densidad Máxima Compactada Seca. - Es el valor corresponde a la densidad mayor que alcanza un suelo al ser compactado en su humedad óptima.

Densidad Relativa. - Grado de compacidad de un suelo con respecto a los estados más sueltos y más densos obtenidos mediante procedimientos de laboratorio normalizados. Ver Método S0403.

Estrato. - Masa de suelo en forma de capa de espesor más o menos uniforme.

Grado de saturación. - Se dice que un suelo está saturado cuando el agua ocupa la totalidad de sus huecos. El grado de saturación es el cociente entre el volumen de agua y el volumen total de vacío. Se expresa en porcentaje.

Humedad de Saturación. - Porcentaje de humedad para el cual un suelo presenta todos sus vacíos llenos con agua y su grado de saturación es por tanto de 100%. La humedad de saturación varía de un suelo a otro dependiendo de su densidad de partículas sólidas, para un nivel de densificación dado.

Humedad Óptima. - Es la humedad para el cual un suelo sometido a una energía de compactación presenta su máxima densidad (DMCS).

Humedad. - Cociente entre la masa de agua presente en un suelo y su masa seca. Se expresa en porcentaje.

Índice de Plasticidad. - es la resta entre el Límite Líquido y el Límite Plástico de un suelo.

Índice Líquido (de Liquidez). - Se define el Índice de Liquidez de un suelo como la razón entre el porcentaje de Humedad Natural menos Límite Plástico y el Índice de Plasticidad. Es decir, cuando la Humedad Natural es igual al Límite Líquido, el Índice de Liquidez es igual a 1.

Limo. - Suelo de grano fino con poca o ninguna plasticidad que en estado seco tiene apenas la cohesión necesaria para formar terrones fácilmente friables. El tamaño de sus partículas está comprendido entre 0,005 mm y 0,08 mm

Muestra de Laboratorio. - Cantidad mínima de material necesario para realizar los ensayos de laboratorio requeridos.



Muestra Inalterada. - Muestra extraída sin alterar las condiciones naturales del suelo.

Peso Específico. - Cociente entre la masa de un material y la masa de un volumen igual de agua a 4°C. Es adimensional

Sub base Granular. - Capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la subrasante y la base.

Subrasante. - Plano superior del movimiento de tierras, que se ajusta a requerimientos específicos de geometría y que ha sido conformada para resistir los efectos del medio ambiente y las sollicitaciones que genera el tránsito. Sobre la subrasante se construye el pavimento y las bermas.

Suelo bien Graduado. - Suelo conformado por partículas de diferentes tamaños y cuya curva granulométrica es continua y suave.

Suelo de Fundación. - Ver Subrasante.

Tensión Superficial. - Si sobre la superficie de un líquido se traza una línea cualquiera, la tensión superficial es la fuerza superficial normal a dicha línea por unidad de longitud. La tensión superficial explica el fenómeno de ascensión de un líquido en tubos capilares. Se expresa en dina/cm o erg/cm²

Testigo. - Muestra cilíndrica aserrada, extraída de pavimentos de hormigón o de asfaltos terminados y/o de elementos de hormigón estructural, cuyo propósito es verificar que los diferentes parámetros de diseño (densidad, espesor, resistencia, etc.) cumplan con las especificaciones de la obra.

Trabajabilidad. - Facilidad con que una muestra puede ser elaborada, distribuida, conformada y terminada.

Turba. - Suelos sedimentarios, compuestos principalmente por materia orgánica, parcialmente descompuesta, que se ha acumulado bajo condiciones de excesiva humedad.



Conclusiones

Conclusión N°-01:

Se admite la Hipótesis General “Las propiedades físico-mecánicas de un suelo arcilloso variarían al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco 2022”

De los ensayos realizados en las muestras de suelo arcilloso para subrasante y las probetas para CBR y Cohesión. Para suelo natural y congelado varían sus propiedades Mecánicas en comparación con el suelo natural, estos cambios ligeros o bruscos hacen que la subrasante pierda capacidad de carga y ocasionando mayores deformaciones como hinchamiento y expansión en la carretera, teniendo una ligera variación en sus propiedades físicas como el peso específico, I.P. y el contenido de humedad estas variaciones producen movimientos verticales y horizontales y/o cambios volumétricos en la carretera ocasionando, grietas y fisuras perjudicando la transitabilidad de la carretera.

Conclusión N°-02:

Se admite la Sub Hipótesis 01, “El índice de plasticidad de un suelo arcilloso aumentara al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.”

El índice de plasticidad del suelo normal es de 11.64% (tabla N° 108, pág. 196), mientras para un suelo congelado a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ se incrementa en 11.75% con respecto al suelo natural ocurriendo que la subrasante adquiriera mayor plasticidad del estado natural de suelo. Para un congelamiento prolongado a menor temperatura se incrementa el I.P. en 12.14% con relación al suelo natural, (ver tabla N° 8, pág. 33). Encontrándose entro de la clasificación de plasticidad mediana para suelos arcillosos limosos, este cambio en la subrasante produzca movimientos verticales y horizontales debido a la expansión de la arcilla, ocurriendo mayor agrietamiento y/o fisuras en la carretera disminuyendo su capacidad de transitabilidad.



Conclusión N°-03:

Se rechaza la Sub Hipótesis 02, “El peso específico seco de un suelo arcilloso se mantendrá estable al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.”

Esta hipótesis es rechazada debido a que el peso específico del suelo en situó es de 2.11g/cm³ (anexo N°-04, pág. 226), y del suelo natural es 2.772 g/cm³ (tabla N° 106, pág. 194), luego de los ciclos de congelamiento y descongelamiento para -5 °C su peso específico descendió a 2.753 g/cm³ y para un congelamiento a -10 °C descendió a 2.745 g/cm³ esta disminución en su peso específico de la subrasante hace que sea menor su resistencia a la fuerza cortante y su grado de compactación.

Conclusión N°-04:

Se admite la Sub Hipótesis 03, “El contenido de humedad óptimo de un suelo arcilloso variara al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.”

El contenido de humedad optimo del suelo natural (CHO) es de 13.50% para una MDS de 1.90 g/cm², cuya humedad del suelo natural es de 16.63% (tabla N° 107, pág. 195), sometido a los ciclos de congelamiento y descongelamiento es 15.68% y de 16.17% de humedad, este incremento hace que la subrasante requiera mayor cantidad de agua para a alcanzar su compactación máxima en comparación con el suelo natural, el cual es contradictorio pues el incremento de agua disminuye el porcentaje de compactación máxima del suelo.

Conclusión N°-05:

Se admite la Sub Hipótesis 04, “El índice de soporte de californio (CBR) de un suelo arcilloso disminuyera al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.”



El CBR en situó realizada por la prueba PDC es de 7.83% a una profundidad de 1.10m (anexo N°4, pág. 225) y el CBR (95% MDS) de la muestra natural para el tipo de suelo CL – ML limo arcilloso de baja plasticidad se de 6.65%, (tabla N° 119, pág. 199) que está dentro de la clasificación de S2 subrasante regular cuyos valores están entre 6% a 10 % de CBR. al ser sometidas a los ciclos de congelamiento y descongelamiento de -5 °C y de -10 °C, resulto 6.01% y 5.51% de CBR (95% MDS) respectivamente, disminuyendo considerablemente pasando a una clasificación de S1 subrasante pobre cuyos valores están entre 3% a 6 % de CBR (ver tabla N° 9, pág. 37) por lo que la subrasante soporta menor carga y sufre deformaciones proyectándose a la parte superior de la carretera como baches y/o ahuellamiento perjudicando la transitabilidad de la carretera.

Conclusión N°-06:

Se acepta la Sub Hipótesis 05, “La cohesión de un suelo arcilloso será menor al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.”

De acuerdo a los resultados para la cohesión del suelo en condiciones normales es de 0.90 kg/cm² suelo natural (tabla N° 121, pág. 208), sometido a los ciclos de congelamiento y descongelamiento desciende a 0.75 kg/cm² a una temperatura de -5 °C y para una temperatura de -10 °C desciende a 0.66 kg/cm². Esta variación de la cohesión en la subrasante disminuye su resistencia ocurriendo mayores deformaciones y podría llegar a fallar por esfuerzo cortante.



Recomendaciones

Recomendación N°-01:

Se recomienda, a aquellas carreteras que se encuentran en zonas altas donde la temperatura desciende a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, donde los ciclos de congelamiento y descongelamiento perjudican a la subrasante en sus propiedades físico Mecánicas, mejorar o estabilizar dicha capa antes de colocar una estructura vial ya sea rígido o flexible. Y a si mejorar la transitabilidad de las carreteras.

Recomendación N°-02:

Se recomienda, a las entidades encargadas del proceso constructivo de carreteras como gobierno regional y municipalidades a través de la gerencia de mantenimiento y operaciones en carreteras, que se encuentran perjudicadas en los ciclos de congelamiento y descongelamiento en la subrasante, colocar un material granular y compactado para así evitar la disminución de los parámetros de resistencia de la carretera con el descenso de temperaturas para los ciclos de congelamiento y descongelamiento.

Recomendación N°-03:

Se recomienda, en futuras investigaciones a los estudiantes de ingeniería civil realizar el ensayo de triaxial para las muestras de suelo arcilloso para subrasante sometido a los ciclos de congelamiento y descongelamiento para tener mejores resultados en las correlaciones del CBR y para la Cohesión y obtener una mayor confiabilidad de la capacidad de soporte del suelo arcillosos para subrasante cuando es sometido a bajas temperaturas.

Recomendación N°-04:

Se recomienda, en futuras investigaciones a los estudiantes de ingeniería civil referentes a ciclos de congelamiento y descongelamiento de muestras de suelos arcillosos primero ver sus propiedades químicas y composición de las partículas y realice una previa clasificación por tipos de suelos para lograr tener mejores resultados en su propiedad físico mecánicas luego de los ciclos de congelamiento y descongelamiento.



Referencias

- AASHTO. (1993). *Guide for design of Pavement structures*. Washington D.C.
- Abiertos, P. N. (2022). Infraestructura vial del Sistema Nacional de Carreteras por tipo de superficie, según departamento, 2022. *Gob. Pe*, 1.
- Agudelo Ospina, J. J. (2002). *Dieño Geométrico de Vías*. Medellín: Sedamedellín.
file:///C:/Users/User/Downloads/DISENO_GEOMETRICO_DE_VIAS_Ajustado_al_Ma.pdf
- Araujo Navarro, W. (2015). Método Alternativo para Predecir CBR en Diseño de Pavimentos. *Universidad de Piura*, 1. [https://www.udep.edu.pe/hoy/2015/01/metodo-alternativo-cbr/#:~:text=El%20Ensayo%20CBR%20\(California%20Bearing,controladas%20de%20humedad%20y%20densidad.](https://www.udep.edu.pe/hoy/2015/01/metodo-alternativo-cbr/#:~:text=El%20Ensayo%20CBR%20(California%20Bearing,controladas%20de%20humedad%20y%20densidad.)
- Badillo Rodrigues, E. J. (1973). *Mecánica de Suelos tomo II*. Mexico: Editorial Limusa.
- Badillo, J., & Rodriguez, A. (2005). *Mecánica de Suelos*. México D.F.: Limusa.
- Berry, P., & David, R. (1993). *Mecánica de Suelos*. Bogotá: Mc Grawhill Latinoamérica S.A.
- Blanco, M., & Matuz, I. (2006). *Guías de Laboratorio de Materiales de Construcción*. Managua.
- Buendia Eisman, Colas Bravo, L. (1998). *metodos de investigacion en Psicopedagogía*. España: Mc Graw Hill. https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/LEONOR-Metodos-de-investigacion-en-psicopedagogia-medilibros.com_.pdf
- Cárdenas Grilsales, J. (2013). *Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá: Impresiones: Contexto Graficos Ltda.
https://www.academia.edu/41350934/Dise%C3%B1o_Goem%C3%A9trico_de_Carreteras_James_C%C3%A1rdenas_Grisales
- centoamericano, i. y. (2015). *Manual Técnico de Refrigeración Comercial*. Costa rica: Fundación Red de Energía BUN-CA.
- Coronado Itubirde, J. (2002). *Manual Centroamericano para diseño de Pavimentos*. Guatemala: USAID.
- Crespo Villalaz, I. C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones* (Quinta Edición ed.). México: Limusa S.A. <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf>
- Cuadros Romero, M. B. (2015). Obtención y Selección Apropriada del Valor de Cohesión. *Universidad Católica de Colombia*, 12. file:///C:/Users/User/Downloads/TG_CA_CuadrosR-JL_MontenegroB.pdf
- D'Ancona, C. (1998). *Metodología cuantitativa. Estrategia y técnicas de investigación social*. Madrid: Editorial Síntesis, S.A.
- Das, B. M. (1985). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. California: Thomson Learning.
- FYJJ Laboratorio de Mecánica de Suelos. (2015). *Estudio de Suelos para pavimentaciones*. Cusco.
- Gallardo Echenique, E. (2017). *Metodología de la Investigación*. Huancayo - Perú: Univresidad Continental.



https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4278/1/DO_UC_EG_MAI_UC0584_2018.pdf

González de Vallejo, L. (2004). *INGENIERÍA GEOLÓGICA*. Mexico: PERSON Prentice Hall.

Guaman Poma de Ayala, C. (2018). *Plan de Desarrollo Concertado 2017-2024*. Cusco: Municipalidad Distrital de San Jeronimo.

Guerrero Campos, Oyarzo Cayupel, D. (2004). *Estimación de la Profundidad de Penetración de la Helados para Suelos Naturales Homogéneos Predominantes en la Ciudad de Punta Arenas*. Punta Arenas Chile: Universidad de Magallanes Facultad de Ingeniería Escuela de Construcción Civil.

Guerrero Campos, Oyarzo Cayupel, D. R. (2004). *Estimación de la Profundidad de Penetración de la Helada para Suelos Naturales Homogéneos Predominantes en la Ciudad de Punta Arenas*. Chile: Universidad de Magallanes .

Gutiérrez Montes, C. A. (2010). *Estabilizacion Quimica de Carreteras No Pavimentadas en el Peru y Ventajas Comparativas del Cloruro de Magnesio (Bischofita) Frente al Cloruro de Calcio*. Lima: Universidad Ricardo Palma.

Hernández Sampieri, C. R. (2014). *Metodología de la Ingestigación* (Sexta Edición ed.). Mexico: Mc Graw Hill. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metología de la Investigación* (Quinta ed.). México D.F.: Mc Graw Hill.

Humlun, O., Melnikov, E., Rasch, M., & Romanovskii, N. (2014). *Actividad de los suelos congelados*. <https://es.scribd.com/document/240504390/05-Actividad-en-Suelos-Congelados>

J. Ch. U. (2006). *Primer Taller de Mecanica de Suelos*. Univesidad Nacional de Ingenieria . Lima: Laboratorio de Mecania de Suelos UNI. <http://www.lms.uni.edu.pe/Determinacion%20del%20contenido%20de%20Humedad.pdf>

Lanza Espino, Caceres Martinez , G. (2005). *Diccionario de Hidrología y Ciencias Afines*. Mexico D.F.: Plaza y Valdés Editores.

León Warthon , H., & Tarco Góngora, I. (2000). *Efectos del congelamiento y descongelamiento en los parámetros de resistencia y deformabilidad en un suelo compactado*. Cusco: UNSAAC.

López Roldán, Fachelli, P. (2015). *Metodologia de la Investigacion Social Cuantitativa*. barcelona España: Edifici B. Campus de la UAB. https://ddd.uab.cat/pub/caplli/2017/185163/metinvsocua_cap2-4a2017.pdf

M. Das, B. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* . Mexico D.F.: Cengage Learning Editores.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2014). *Manual de Carreteras ,Suelos , Geotecnia y Pavimentos*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones(MTC). (2016). *Manual de Ensayos de Laboratorio*. Lima.

Montejo Fonseca , A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogota Valbuena de Fierro: Stela .

MTC Suelos y Geología, M. d. (2014). *Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.



https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf

MTC, M. (2007). Decreto Supremo N°017-2007-MTC. *MTC*, 3.

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/reglamentos_viales.html

MTC, M. (2008). Manual Para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. *MTC*, 8. https://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2008/Abril/09/RM-303-2008-MTC-02_09-04-08.pdf

MTC-DG-, M. T. (2018). Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018. 13.

https://www.academia.edu/39227994/DIRECCI%C3%93N_GENERAL_DE_CAMINOS_Y_FERROCARRILES

Ocampo Guerrero, N. P. (2021). *Análisis de las Propiedades Físico-Mecánicas y CBR de Suelos Cohesivos de Subrasante Mezclados con Partículas de Tereftalato de Polietileno (PET)*. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato UTA.

Olivos Velásquez, M. A. (2015). *Estimación del Ángulo de Fricción Interna y Cohesión No Drenada a Partir de Correlaciones Basadas en Ensayos In Situ para Suelos del Piedemonte de los Cerros Orientales de Bogotá DC*. Bogotá DC: Universidad Piloto de Colombia.

Pérez Navarro Vázquez, I. F. (2015). Propiedades Mecánicas de las Capas de base y Subbase Construidas con materiales Granulares en los Firmes de Carreteras. *E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, 1. <https://core.ac.uk/download/pdf/80522567.pdf>

Perez Presedo, A. (2017). Que es el Metodo Cuantitativo. *Cursos.com*, 1.

<https://cursos.com/blog/metodo-cuantitativo/>

Quispe Chavez, C. (2022). *Aplicación de grasa orgánica residual ante ciclos de congelamiento/descongelamiento en suelo de subrasante de la calle Muña, Altoqosqo-Cusco*. Cusco: Universidad Cesar Vallejo.

Ravines, M. (2010). *Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador*. Piura: Universidad de Piura.

Rodriguez Jiménez, Pérez Jacinto, A. (2017). Métodos Científicos de Indagación y de Construcción del Conocimiento. "EAN" *Escuela de Administración de Negocios Institución Universitaria*, 12.

<https://www.redalyc.org/pdf/206/20652069006.pdf>

SENAMHI, D., & Kayra, G. (2022). *Datos Hidrometeorológicos en Cusco*. Estacion Granja Kayra, Cusco. San Jeronimo Cusco: MAP Meteorológica.

<https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cusco&p=estaciones>

SENAMHI, P. (2022). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*. Lima: Senamhi.

Wigodski S., J. (2010). Metodología de la Investigación Las TICs en Salud y Docencia. *Sociedad Chilena de Fitoterapia COBS & <COGS*, 1.

<http://metodologiaeninvestigacion.blogspot.com/2010/07/poblacion-y-muestra.html>

Yepes Piqueras, V. (2015). Laboratorio Virtual Peso Específico de un Suelo. *Nihil Difficile Vollentin*, 1.

<https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/04/10/laboratorio-virtual-peso-especifico-de-un-suelo/>



Zapata Huamán, D. C. (2020). *Análisis de la Influencia de los Ciclos de Congelamiento y Descongelamiento en las Propiedades Físico Mecánicas del Suelo de la Subrasante en la Carretera entre el Anexo Phusa y la C.C. de Acchahuata de la Provincia de Calca, Región Cusco*. Cusco: Universidad Alas Peruanas.



Apéndices

Apéndice N°-01 Matriz De Consistencia

Título: "ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA Y ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO-CUSCO-2022"									
Ítem	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensión / nivel	Indicadores	Instrumentos	Fuentes	Metodología
General	Problema General	Objetivos General	Hipótesis General						
	¿Cómo varían Las Propiedades Físico Mecánicas de un Suelo Arcilloso para Subrasante Sometida a Congelamiento en la Carretera CU-123, Comunidad Conchacalla-Abra Occoruro del Distrito De San Jerónimo Cusco-2022?	Analizar en qué medida varía las propiedades físico-mecánicas de un suelo arcilloso para subrasante sometida a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco 2022.	Las propiedades físico-mecánicas de un suelo arcilloso variaran al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco 2022.	X1: La temperatura de congelamiento Y1: Propiedades Físico Mecánicas	0°C -5 °C -10 °C Características. Física Propiedades Mecánicas	0°C -5 °C -10 °C Propiedades Físicas Propiedades Mecánicas	Hoja de recolección de datos Hoja de recolección de datos de laboratorio	Granja Kayra Elaboración propia	
Específicos	Problema Específico	Objetivos Específico	Sub Hipótesis						
	PE1: ¿Cómo varían el Índice de Plasticidad de un suelo arcilloso al ser sometido a bajas temperaturas para subrasante en la Carretera CU-123 Comunidad Conchacalla del Distrito de San Jerónimo Cusco?	OE1: Determinar la variación del índice de plasticidad de un suelo arcilloso para subrasante sometida a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.	H1: El índice de plasticidad de un suelo arcilloso aumentará al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.	VI: Temperatura de Congelamiento VD: Límites de Atterberg	Índice de Plasticidad	Límite líquido (%) Límite plástico (%) Contenido de Humedad (%)	Ficha de Recolección Hoja de Cálculo MTC E-110 (LL), MTC E-111 (LP) y MTC E-112 (LC)	MTC E110 MTC E111	Enfoque: Cuantitativo
	PE2: ¿Cómo varían el Peso Específico Máximo seco de un suelo arcilloso al ser sometido a bajas temperaturas para subrasante en la carretera CU-123 Comunidad Conchacalla del Distrito de San Jerónimo Cusco?	OE2: Determinar la variación del peso específico máximo seco de un suelo arcilloso para subrasante sometida a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.	H2: El peso específico seco de un suelo arcilloso se mantendrá estable al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.	VI: Temperatura de Congelamiento VD: Peso Específico Seco	Peso Específico	Peso del suelo húmedo (kN) Volumen del molde (m3) Contenido de humedad (%)	Ficha de Recolección Hoja de Cálculo MTC E-113 NTP-339.131. Ensayo de compactación Proctor Modificado	MTC E113	Nivel: Descriptivo Diseño: Cuasiexperimental
	PE3: ¿Cómo varían el Contenido de Humedad Óptima de un suelo arcilloso al ser sometido a bajas temperaturas para subrasante en la Carretera CU-123 Comunidad Conchacalla del Distrito de San Jerónimo Cusco?	OE3: Medir la variación del contenido de humedad óptima de un suelo arcilloso para subrasante sometida a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.	H3: El contenido de humedad óptimo de un suelo arcilloso disminuirá al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco	VI: Temperatura de Congelamiento VD: Contenido de Humedad Óptima	Peso Específico seco máximo (Proctor)	Contenido de Humedad Óptima (%)	Ficha de Recolección Hoja de Cálculo MTC E-108 ASTM D 2216 NTP-339.14	MTC E108	Muestreo: Tipo de muestreo es aleatorio, por conveniencia
	PE4: ¿Cómo varían el Índice de Soporte de California (CBR) de un suelo arcilloso al ser sometido a bajas temperaturas para subrasante en la Carretera CU-123 Comunidad Conchacalla del Distrito de San Jerónimo Cusco?	OE4: Analizar el índice de soporte de californio (CBR) de un suelo arcilloso para subrasante sometida a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.	H4: El índice de soporte de californio (CBR) de un suelo arcilloso disminuirá al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.	VI: Temperatura de Congelamiento VD: Índice de Soporte de California (CBR)	Humedad y densidad	Humedad y densidad	Ficha de Recolección Hoja de Cálculo MTC E-132 ASTM D 1883.3 NTP-339.145	MTC E132	
	PE5: ¿Cómo variará la Cohesión de un suelo arcilloso al ser sometido a bajas temperaturas para subrasante en la Carretera CU-123 Comunidad Conchacalla del Distrito de San Jerónimo Cusco?	OE5: Evaluar la variación de la cohesión de un suelo arcilloso para subrasante sometida a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.	H5: La cohesión de un suelo arcilloso será menor al ser sometido a congelamiento en la carretera CU-123, Comunidad Conchacalla Abra Occoruro del Distrito de San Jerónimo-Cusco.	VI: Temperatura de Congelamiento VD: Cohesión	Parámetro de resistencia	Carga vertical de compresión (KN) Área de contacto de la probeta (m2) Deformación unitaria (ε)	Ficha de Recolección Hoja de Cálculo MTC E-123 ASTM D 3080 Ensayo de compresión no confinada	MTC E123	



Apéndice N°-02 Panel Fotografico de los ensayos realizados





Apéndice N°-03 Proceso De Regionalización De Temperatura Mínima Por Mes

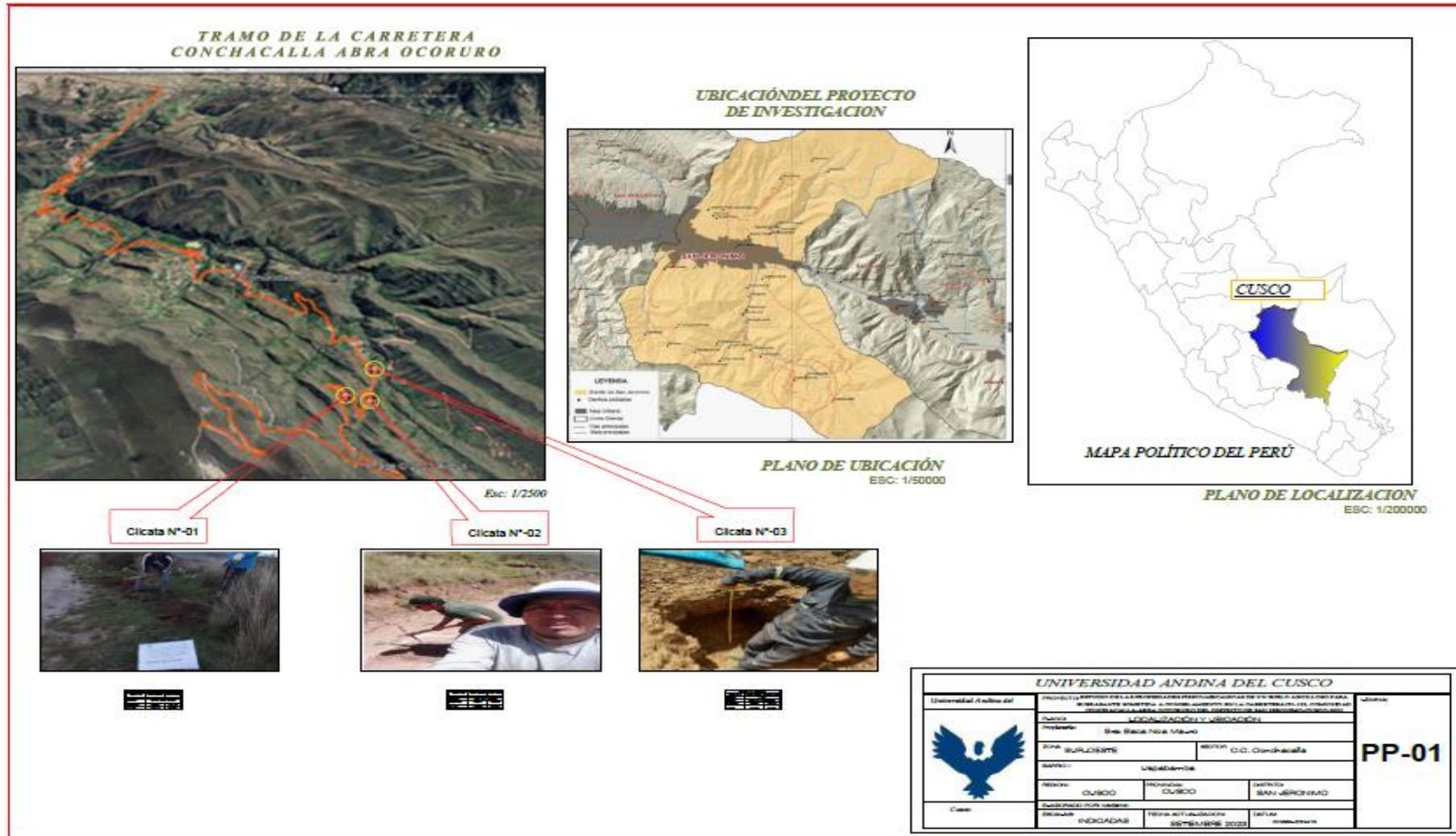
ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO PARA SUBRASANTES SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO-CUSCO-2022.														
MODELO DE REGIONALIZACION TEMPERATURA MINIMA VS ALTITUD POR REGRESION LINEAL														
NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD msnm	MES TEMPERATURA MINIMA MEDIA 2022												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
KAYRA	3219	2.5	4.0	4.0	1.0	-1.2	-3.7	-3.6	-4.6	1.2	2.5	3.0	2.5	0.6
POMACAMCHI	3690	2.6	3.2	2.6	-0.2	-2.6	-4.4	-4.6	-3.8	-6.0	-2.6	0.3	0.4	-1.3
ZURITE	3324	0.3	3.5	2.0	-0.1	-4.5	-7.4	-6.2	-5.5	-3.5	-1.2	-1.4	0.5	-2.0
CCATCCA	3681	0.0	2.5	1.0	-1.5	-4.0	-7.0	-6.5	-7.5	-2.5	-1.5	-1.0	-1.5	-2.5
PARURO	3070	5.0	5.0	4.0	4.0	-1.6	-2.6	-2.2	-2.0	2.4	3.0	4.8	2.6	1.9
SUMA	16984	10.4	18.2	13.6	3.2	-13.9	-25.1	-23.1	-23.4	-8.4	0.2	5.7	4.5	-3.2
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
PROMEDIO	3396.8	2.1	3.6	2.7	0.6	-2.8	-5.0	-4.6	-4.7	-1.7	0.0	1.1	0.9	-0.6
Desv. Estandar	278.59	2.03	0.93	1.30	2.08	1.45	2.10	1.80	2.04	3.45	2.53	2.67	1.70	1.83
Coefic.	a	16.72014555	14.04835	14.94707	22.11474	6.359341	8.473461	10.54097	10.35142	33.47092	27.68036	25.1718	18.83993	17.39321
Coefic.	b	-0.00431	-0.00306	-0.00360	-0.00632	-0.00269	-0.00397	-0.00446	-0.00443	-0.01035	-0.00814	-0.00707	-0.00528	-0.00531
Coefic.	r	-0.59	-0.91	-0.77	-0.85	-0.52	-0.53	-0.69	-0.61	-0.84	-0.89	-0.74	-0.86	-0.81



ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO PARA SUBRASANTE SOMETIDA A CONGELAMIENTO EN LA CARRETERA CU-123, COMUNIDAD CONCHACALLA-ABRA OCCORURO DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO-CUSCO-2022.														
NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD msnm	VALORES DE TEMPERATURA MÍNIMA MENSUALES REGIONALIZADOS PARA CADA ALTITUD												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
	3300	2.50	3.94	3.07	1.25	-2.52	-4.64	-4.19	-4.25	-0.68	0.83	1.82	1.41	-0.12
	3350	2.28	3.78	2.89	0.94	-2.65	-4.83	-4.41	-4.47	-1.20	0.42	1.47	1.15	-0.39
	3400	2.07	3.63	2.71	0.62	-2.79	-5.03	-4.63	-4.69	-1.71	0.01	1.12	0.88	-0.65
	3450	1.85	3.48	2.53	0.30	-2.92	-5.23	-4.86	-4.92	-2.23	-0.39	0.76	0.62	-0.92
	3500	1.64	3.32	2.35	-0.01	-3.06	-5.43	-5.08	-5.14	-2.75	-0.80	0.41	0.35	-1.18
	3550	1.42	3.17	2.17	-0.33	-3.19	-5.63	-5.30	-5.36	-3.27	-1.21	0.06	0.09	-1.45
	3600	1.20	3.02	1.99	-0.64	-3.33	-5.83	-5.53	-5.58	-3.78	-1.61	-0.30	-0.17	-1.71
	3650	0.99	2.86	1.81	-0.96	-3.46	-6.03	-5.75	-5.80	-4.30	-2.02	-0.65	-0.44	-1.98
	3700	0.77	2.71	1.63	-1.28	-3.60	-6.22	-5.97	-6.02	-4.82	-2.43	-1.01	-0.70	-2.24
<i>Calicata N°-03</i>	3750	0.56	2.56	1.45	-1.59	-3.73	-6.42	-6.20	-6.24	-5.34	-2.83	-1.36	-0.97	-2.51
	3800	0.34	2.40	1.27	-1.91	-3.86	-6.62	-6.42	-6.46	-5.85	-3.24	-1.71	-1.23	-2.77
<i>Calicata N°-02</i>	3850	0.13	2.25	1.09	-2.23	-4.00	-6.82	-6.64	-6.69	-6.37	-3.65	-2.07	-1.49	-3.04
	3900	-0.09	2.10	0.91	-2.54	-4.13	-7.02	-6.87	-6.91	-6.89	-4.05	-2.42	-1.76	-3.31
<i>Calicata N°-01</i>	3950	-0.30	1.94	0.73	-2.86	-4.27	-7.22	-7.09	-7.13	-7.40	-4.46	-2.77	-2.02	-3.57
	4000	-0.52	1.79	0.55	-3.17	-4.40	-7.42	-7.31	-7.35	-7.92	-4.87	-3.13	-2.29	-3.84
	4050	-0.74	1.64	0.37	-3.49	-4.54	-7.61	-7.54	-7.57	-8.44	-5.28	-3.48	-2.55	-4.10
	4100	-0.95	1.49	0.19	-3.81	-4.67	-7.81	-7.76	-7.79	-8.96	-5.68	-3.84	-2.81	-4.37
	4150	-1.17	1.33	0.01	-4.12	-4.81	-8.01	-7.98	-8.01	-9.47	-6.09	-4.19	-3.08	-4.63
	4200	-1.38	1.18	-0.17	-4.44	-4.94	-8.21	-8.20	-8.23	-9.99	-6.50	-4.54	-3.34	-4.90
Abra de Occoruro	4250	-1.60	1.03	-0.35	-4.75	-5.08	-8.41	-8.43	-8.46	-10.51	-6.90	-4.90	-3.61	-5.16
	4300	-1.81	0.87	-0.53	-5.07	-5.21	-8.61	-8.65	-8.68	-11.03	-7.31	-5.25	-3.87	-5.43
	4350	-2.03	0.72	-0.71	-5.39	-5.34	-8.81	-8.87	-8.90	-11.54	-7.72	-5.60	-4.13	-5.69
	4400	-2.24	0.57	-0.89	-5.70	-5.48	-9.01	-9.10	-9.12	-12.06	-8.12	-5.96	-4.40	-5.96



Apéndice N°-04 Plano De Ubicación De Las Calicatas De Estudio.

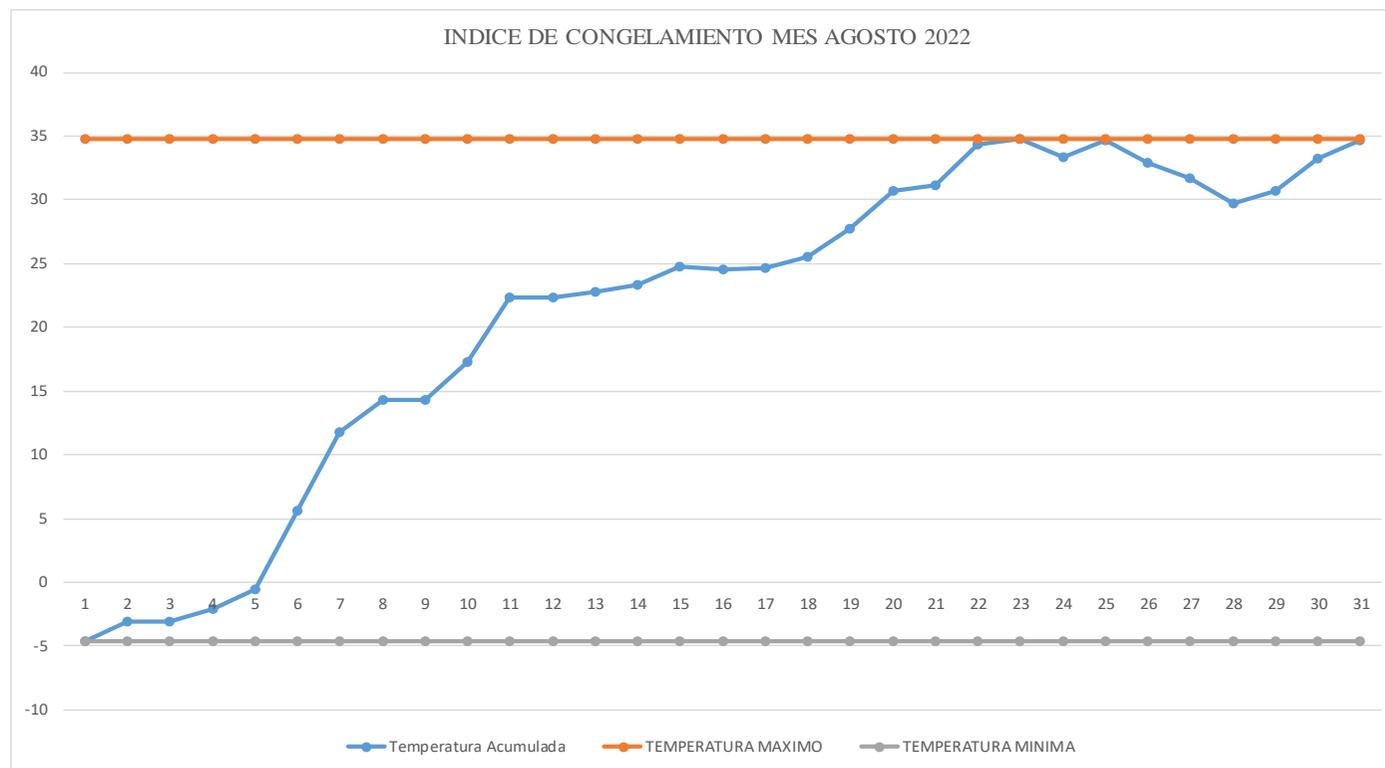




Apéndice N°-05 Ficha De Temperaturas Senamhi Estación Granja Kayra

Acumulado	Max	Min
-4.6	34.8	-4.6
-3.1	34.8	-4.6
-3.1	34.8	-4.6
-2.1	34.8	-4.6
-0.6	34.8	-4.6
5.6	34.8	-4.6
11.8	34.8	-4.6
14.3	34.8	-4.6
14.3	34.8	-4.6
17.3	34.8	-4.6
22.3	34.8	-4.6
22.3	34.8	-4.6
22.8	34.8	-4.6
23.3	34.8	-4.6
24.8	34.8	-4.6
24.5	34.8	-4.6
24.7	34.8	-4.6
25.5	34.8	-4.6
27.7	34.8	-4.6
30.7	34.8	-4.6
31.2	34.8	-4.6
34.3	34.8	-4.6
34.8	34.8	-4.6
33.3	34.8	-4.6
34.7	34.8	-4.6
32.9	34.8	-4.6
31.7	34.8	-4.6
29.7	34.8	-4.6
30.7	34.8	-4.6
33.2	34.8	-4.6
34.7	34.8	-4.6

Limite Superior	34.8
Limite Inferior	-4.6
IC	39.4

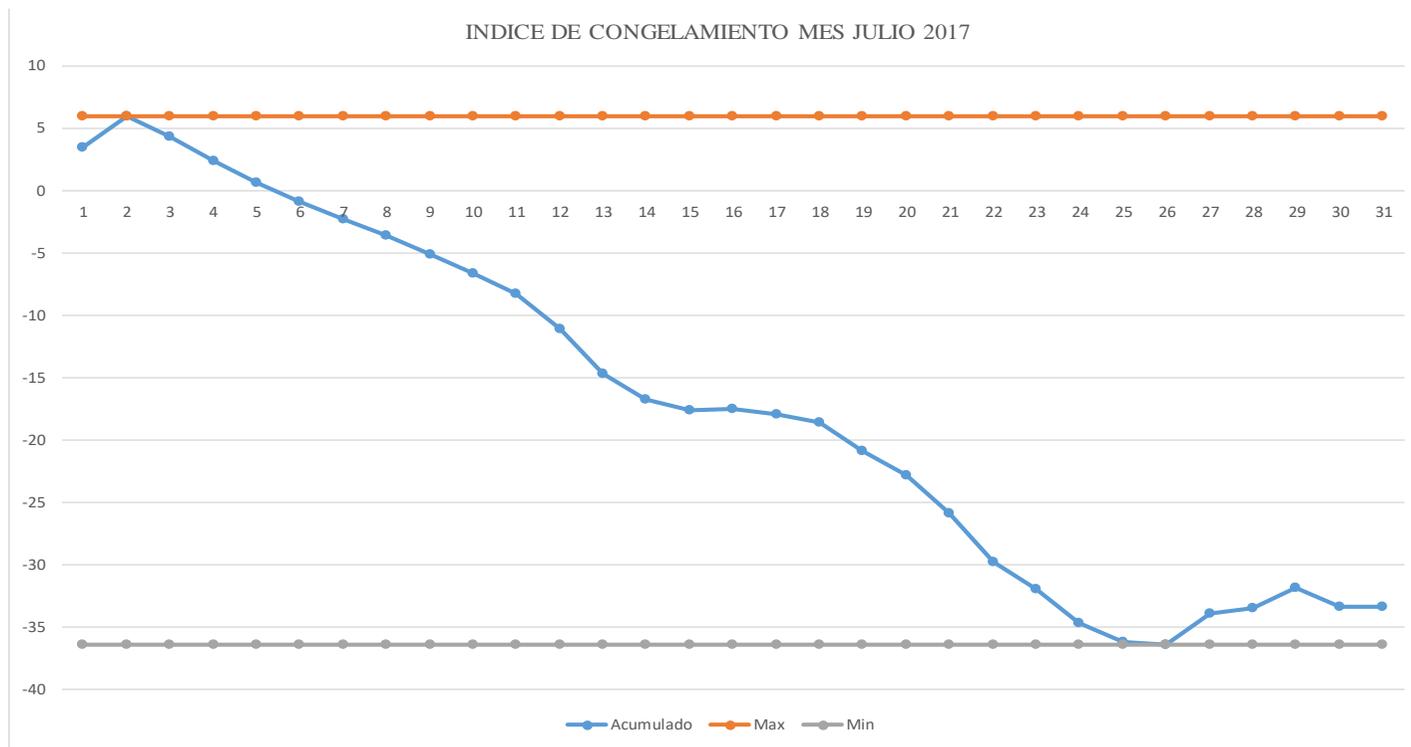




Apéndice N°-06 Ficha De Temperaturas Senamhi Estación Granja Kayra

Acumulado	Max	Min
3.5	6	-36.4
6	6	-36.4
4.4	6	-36.4
2.4	6	-36.4
0.7	6	-36.4
-0.8	6	-36.4
-2.3	6	-36.4
-3.6	6	-36.4
-5.1	6	-36.4
-6.6	6	-36.4
-8.2	6	-36.4
-11.1	6	-36.4
-14.7	6	-36.4
-16.7	6	-36.4
-17.6	6	-36.4
-17.5	6	-36.4
-17.9	6	-36.4
-18.6	6	-36.4
-20.8	6	-36.4
-22.8	6	-36.4
-25.8	6	-36.4
-29.8	6	-36.4
-31.9	6	-36.4
-34.6	6	-36.4
-36.2	6	-36.4
-36.4	6	-36.4
-33.9	6	-36.4
-33.5	6	-36.4
-31.8	6	-36.4
-33.4	6	-36.4
-33.4	6	-36.4

Limite Superior	6
Limite Inferior	-36.4
IC	30.4





Anexos

Anexo N°-01 Prueba de Penetración Dinámica de Cono PDC y Densidad de Campo



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

• LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

• Urb. Licenciados L-3 San Sebastián - Cusco, Telf: 084-606519, Claro: 984-727700

Proyecto: Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de un suelo arcillosa para subrasante, carretera C-123
San Jeronimo - Cusco

Ubicación: San Sebastián - Cusco - Cusco

Solicita: Mauro Baca

Muestra: Subrasante

Fecha: viernes, 24 de noviembre de 2023

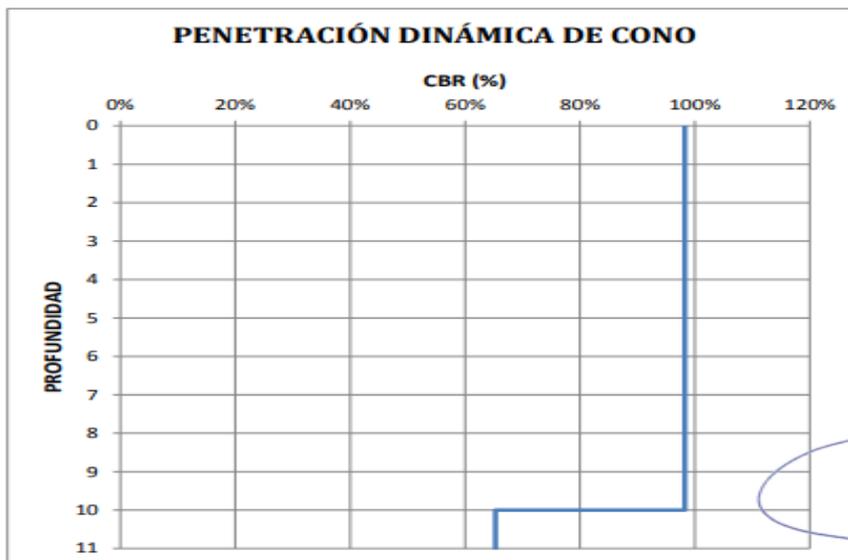
Progresiva: -

Sondeo: P-2

PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO

ASTM D-6951

PROFUNDIDAD ACUMULADA (cm)	CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN PARCIAL (mm)	PENETRACIÓN POR GOLPE (mm/golpe)	FACTOR DE MARTILLO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR	CAPA
10	39	100	2.56	1	2.56	98.24%	SUB-RASANTE
20	27	100	3.70	1	3.70	65.30%	
30	19	100	5.26	1	5.26	44.20%	
40	6	100	16.67	1	16.67	12.29%	
50	6	100	16.67	1	16.67	12.29%	
60	6	100	16.67	1	16.67	12.29%	
70	9	100	11.11	1	11.11	19.27%	
80	8	100	12.50	1	12.50	16.91%	
90	8	100	12.50	1	12.50	16.91%	
100	4	100	25.00	1	25.00	7.83%	



CBR DE LA SUB-RASANTE = 30.55%

Laboratorio de Suelos y Materiales
PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.

Sergio Ivan Liendo Vargas
Ingeniero Civil



DENSIDAD EN CAMPO POR EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA

MTC E 117 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1556 y AASHTO T-191

DATOS DE LA ARENA	
Tipo de Arena utilizada: Machupicchu	
Peso Unitario de la Arena (gr/cm ³) = 1.50 gr/cm ³	

DATOS DEL ENSAYO	
Número de Cono	3
Peso del Frasco + Cono antes de usarlo (gr)	6836.00
Peso del Frasco + Cono después de usarlo (gr)	1060.00
Peso del Suelo Húmedo (gr)	5536.00
Peso de la Arena Utilizada, hueco + cono (gr)	5776.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1837.00
Peso de la Arena en el Hueco (gr)	3939.00
Volumen del Hueco (cm ³)	2618.29
Densidad Natural Húmeda (gr/cm ³)	2.11

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Peso de Capsula (gr)	15.71
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	112.21
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	104.60
Peso del Agua (gr)	7.61
Peso de la Muestra Seca (gr)	88.89
Contenido de Humedad	8.56%

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Peso de Capsula (gr)	15.71
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	112.21
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	104.60
Peso del Agua (gr)	7.61
Peso de la Muestra Seca (gr)	88.89
Contenido de Humedad	8.56%

DENSIDAD NATURAL HUMEDA = 2.11 gr/cm³

DENSIDAD NATURAL SECA = 1.95 gr/cm³

Laboratorio de Suelos y Materiales
PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.

Sergio Ivan Liendo Vargas
Ingeniero Civil



Anexo N°-02 Ficha De Temperaturas Senamhi Estación Granja Kayra

Fuente: SENAMHI / DRD				
* Datos sin control de calidad.				
* El uso de estos datos será de entera responsabilidad del usuario.				
Leyenda:				
* S/D = Sin Datos.				
* T = Trazas (Precipitación < 0.1 mm/día).				
Estación : GRANJA KAYRA				
Departamento :	CUSCO	Provincia :	CUSCO	Distrito : SAN JERONIMO
Latitud :	13°33'24.29"	Longitud :	71°52'30.61"	Altitud : 3214 msnm.
Tipo :	MAP - Meteorológica	Código :	100044	
AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
01/08/2022	24.8	-4.6	71.4	0
02/08/2022	21.8	1.5	78.4	0
03/08/2022	23.4	0	70.5	0
04/08/2022	21.3	1	79	0.5
05/08/2022	19.3	1.5	83.4	0
06/08/2022	21.4	6.2	74.8	0
07/08/2022	19.4	6.2	77.9	0
08/08/2022	20	2.5	75.4	0
09/08/2022	20.8	0	77.5	0
10/08/2022	21.6	3	76.9	0
11/08/2022	23.4	5	80.4	0.4
12/08/2022	24.2	0	73.2	0
13/08/2022	24.6	0.5	82.6	0
14/08/2022	22.8	0.5	78.1	0
15/08/2022	23.6	1.5	75.6	0
16/08/2022	24.2	-0.3	69.3	0
17/08/2022	23.8	0.2	66.1	0
18/08/2022	23.4	0.8	69.7	0
19/08/2022	24.8	2.2	70	0
20/08/2022	23.6	3	67.2	0
21/08/2022	23.8	0.5	68.5	0
22/08/2022	23.4	3.1	73	0
23/08/2022	22.5	0.5	64.9	0
24/08/2022	22	-1.5	64.1	0
25/08/2022	23.5	1.4	59.9	0
26/08/2022	24	-1.8	63.5	0
27/08/2022	23.8	-1.2	66.7	0
28/08/2022	20.8	-2	67.3	0
29/08/2022	23.8	1	66.5	0
30/08/2022	22.5	2.5	79.6	0
31/08/2022	23	1.5	70.5	1.6



Anexo N°-03 Ficha De Temperaturas Senamhi Estación Granja Kayra

Meses de Friaje 2022 Temperatura Minimas °C				
Dias	Mayo	Junio	Julio	Agosto
1	4.4	2.8	-2.5	-4.6
2	2.2	3.6	-2.4	1.5
3	2.6	1	-2.6	0
4	2.5	2.6	-3	1
5	3.5	7.2	-3.5	1.5
6	2.8	4	-2.8	6.2
7	2.8	7.8	-1	6.2
8	5.8	0.5	-0.5	2.5
9	2.8	-1.5	-0.5	0
10	2	-1	-0.8	3
11	0.5	1.8	0	5
12	1.5	-2	0.7	0
13	4.7	-2	3.2	0.5
14	1	-2.6	2.3	0.5
15	0.5	-1.8	-1	1.5
16	3.5	-3	0.5	-0.3
17	7.5	-3	-1	0.2
18	2.2	-2	5.2	0.8
19	3.2	-1	-0.1	2.2
20	-1	-0.5	-3	3
21	-1.2	0.5	-2.5	0.5
22	1.2	-1	-3	3.1
23	-1	-1.2	-1	0.5
24	-1	-1.2	-1.8	-1.5
25	1	1	1.2	1.4
26	2	-3.6	1.5	-1.8
27	0.7	-3.7	0.8	-1.2
28	3.5	-2.5	-3.2	-2
29	0	-3	-3.6	1
30	0.5	-1.6	-0.8	2.5
31	2.2		-0.5	1.5

Temperatura Minima °C **-4.6**

Meses de Friaje 2021 Temperatura Minimas °C				
Dias	Mayo	Junio	Julio	Agosto
1	1.5	0	-3	-0.1
2	0	6.2	-4.2	1.5
3	1	0.5	-7	-0.1
4	2.3	5.4	-4.4	-0.5
5	0.3	2	-6.5	-3
6	0	1.4	-4	-1.9
7	2	-0.5	-3.5	-2.4
8	2.6	-1.5	-2.2	-0.1
9	-0.7	1.5	-3.5	-0.8
10	-3	-0.05	-2.3	-1
11	0.5	0.2	-0.2	1.2
12	1.3	2.2	-1	-2
13	1.2	3.4	-1.4	-0.1
14	0.8	0.3	-0.4	-0.1
15	1.7	1	-0.7	-0.5
16	0	2.3	-0.8	-1.2
17	-0.9	1.6	-1	-0.5
18	0.5	0.5	0	-0.5
19	0	1.6	0.5	0
20	0	-0.5	3.1	-0.1
21	0.4	-0.5	1.5	-0.1
22	0.5	2.1	-2.2	2.6
23	1.7	0.1	-2.4	-0.5
24	5.2	0.3	-2.5	-0.4
25	7.6	1.2	1.8	-0.8
26	0.4	-0.5	-1	0
27	3.8	0	0.5	2.6
28	-1	-1.1	-0.6	-0.4
29	1	2.5	0	1.8
30	-2	1.6	-0.5	-0.5
31	1.2		-0.3	-0.1

Temperatura Minima °C **-7**



Anexo N°-04 Ficha De Temperaturas Senamhi Estación Granja Kayra

Meses de Friaje 2018 Temperatura Minimas °C				
Dias	Mayo	Junio	Julio	Agosto
1	3.1	-2.4	-1.6	2.9
2	3.5	0	-1.7	3
3	3.1	3.5	-2	1.2
4	5.6	6.5	2.1	1
5	5.3	0.6	0.2	5
6	1.8	1.5	1.2	1.2
7	4	-1.4	-4	5.2
8	3.6	0.8	-4.2	0.7
9	1.8	1.6	-4.6	3.2
10	2.8	0.5	0.5	4.8
11	2.6	1	3.1	0.5
12	0.5	2.4	2.1	1.1
13	0.2	0.5	-0.2	0.2
14	-1	-0.5	-1.5	-1
15	0.5	-1.5	-1.8	-0.7
16	-1	-0.8	-1	1
17	0.5	-1.4	-2.7	1.3
18	0.5	-2.5	-1.7	1.2
19	0	-3	3.8	0.9
20	1.5	-3.2	2.4	4.7
21	1.5	-3.3	4.5	3.3
22	0	-3	3.7	6.5
23	-0.5	-2	0.4	1.2
24	-0.8	-2.8	-0.9	1.8
25	-1.4	-2.8	-1.5	0.8
26	-1	0.2	-3.5	3.2
27	0.5	-0.5	-4	4
28	-0.8	0.4	-3	0.8
29	-0.5	1.2	-3.3	-1
30	-3	-1	-0.5	0.4
31	-2.5		-0.3	0.4

Temperatura Minima °C **-4.6**

Meses de Friaje 2017 Temperatura Minimas °C				
Dias	Mayo	Junio	Julio	Agosto
1	5.4	1.4	3.5	-1
2	2	3.6	2.5	0
3	3.1	0.5	-1.6	1
4	2	-0.3	-2	0.3
5	3.5	-0.6	-1.7	1.3
6	1	-1.3	-1.5	-2
7	5	0.6	-1.5	-2.1
8	1.5	s/d	-1.3	-2
9	1.5	s/d	-1.5	0.5
10	2.1	s/d	-1.5	0
11	3.5	s/d	-1.6	0.4
12	3.5	s/d	-2.9	-0.5
13	4	s/d	-3.6	1.8
14	5.7	s/d	-2	-0.5
15	1.8	s/d	-0.9	1.5
16	3.6	s/d	0.1	1.5
17	2.8	s/d	-0.4	1.8
18	0.5	s/d	-0.7	3
19	1.3	s/d	-2.2	1
20	1.9	s/d	-2	-1.2
21	3.7	s/d	-3	-0.1
22	5.6	s/d	-4	2.4
23	5.8	s/d	-2.1	0.8
24	7.2	s/d	-2.7	2.2
25	2.5	s/d	-1.6	2
26	2.3	s/d	-0.2	4.8
27	1	s/d	2.5	5.2
28	2.1	s/d	0.4	3
29	5	s/d	1.7	5.1
30	2.1	s/d	-1.6	4.6
31		s/d	0	4.8

Temperatura Minima °C **-4**



Anexo N°-05 Tablas Metereológica De Senmhi De La Estación Kayra

Fuente: SENAMHI / DRD					Fuente: SENAMHI / DRD						
* Datos sin control de calidad.					* Datos sin control de calidad.						
* El uso de estos datos será de entera responsabilidad del usuario.					* El uso de estos datos será de entera responsabilidad del usuario.						
Leyenda:					Leyenda:						
* S/D = Sin Datos.					* S/D = Sin Datos.						
* T = Trazas (Precipitación < 0.1 mm/día).					* T = Trazas (Precipitación < 0.1 mm/día).						
Estación : GRANJA KAYRA					Estación : GRANJA KAYRA						
Departamento :	CUSCO	Provincia :	CUSCO	Distrito :	SAN JERONIMO	Departamento :	CUSCO	Provincia :	CUSCO	Distrito :	SAN JERONIMO
Latitud :	13°33'24.29"	Longitud :	71°52'30.61"	Altitud :	3214 msnm.	Latitud :	13°33'24.29"	Longitud :	71°52'30.61"	Altitud :	3214 msnm.
Tipo :	MAP - Meteorológica	Código :	100044			Tipo :	MAP - Meteorológica	Código :	100044		
AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		PRECIPITACIÓN (mm/día)		AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		PRECIPITACIÓN (mm/día)			
	MAX	MIN	HUMEDAD RELATIVA (%)	TOTAL		MAX	MIN	HUMEDAD RELATIVA (%)	TOTAL		
01/05/2022	21.5	4.4	70.6	0	01/08/2021	20	-0.1	73.9	0		
02/05/2022	23.4	2.2	78.9	0	02/08/2021	21.8	1.5	65.9	0		
03/05/2022	21.6	2.6	72.6	0	03/08/2021	19.5	-0.1	64.9	0		
04/05/2022	24.2	2.5	81.2	0	04/08/2021	20.5	-0.5	63.3	0		
05/05/2022	24	3.5	75.6	0	05/08/2021	22.2	-3	68.6	0		
06/05/2022	22.8	2.8	78	0	06/08/2021	23	-1.9	53.2	0		
07/05/2022	22.4	2.8	72.1	0	07/08/2021	22.3	-2.4	64.5	0		
08/05/2022	22.2	5.8	72.2	0	08/08/2021	22.9	-0.1	61.9	0		
09/05/2022	22.2	2.8	77.7	0	09/08/2021	24.2	-0.8	66.9	0		
10/05/2022	18	2	81.7	0	10/08/2021	21.5	-1	58.9	0		
11/05/2022	20.6	0.5	78.6	0	11/08/2021	22.6	1.2	59.7	0		
12/05/2022	21	1.5	70.8	0	12/08/2021	23.5	-2	79.6	0		
13/05/2022	21.5	4.7	73.7	0	13/08/2021	24	-0.1	66.2	0		
14/05/2022	22.5	1	70.9	0	14/08/2021	23.4	-0.1	71.5	0		
15/05/2022	22.2	0.5	65.8	0	15/08/2021	23.2	-0.5	78.2	0		
16/05/2022	22.6	3.5	77.5	0	16/08/2021	24.5	-1.2	85	0		
17/05/2022	22	7.5	77.5	0	17/08/2021	24.4	-0.5	74.1	0		
18/05/2022	23.5	2.2	60.6	0	18/08/2021	23.4	-0.5	75.4	0		
19/05/2022	23.2	3.2	63.1	0	19/08/2021	23.4	0	79.2	0		
20/05/2022	S/D	-1	S/D	S/D	20/08/2021	24.6	-0.1	72.3	0		
21/05/2022	22	-1.2	62.5	0	21/08/2021	22.8	-0.1	80.5	0		
22/05/2022	23	1.2	62.7	0	22/08/2021	21.6	2.6	70	0		
23/05/2022	22.8	-1	71.5	0	23/08/2021	23.6	-0.5	72.7	4.2		
24/05/2022	21.2	-1	61.6	0	24/08/2021	23	-0.4	65.3	0		
25/05/2022	19.8	1	66.5	0	25/08/2021	24	-0.8	71.9	0		
26/05/2022	21.8	2	66.1	0	26/08/2021	22.8	0	71.7	0		
27/05/2022	19	0.7	67.1	0	27/08/2021	23.3	2.6	67.6	0		
28/05/2022	22.8	3.5	66.9	0	28/08/2021	22.4	-0.4	66.5	0		
29/05/2022	21.8	0	69.4	0	29/08/2021	22.6	1.8	66.7	0.1		
30/05/2022	22.5	0.5	68.4	0	30/08/2021	22.8	-0.5	69.4	0		
31/05/2022	17.5	2.2	77.2	1	31/08/2021	23	-0.1	73.6	0		



Fuente: SENAMH / DRD					Fuente: SENAMH / DRD						
* Datos sin control de calidad.					* Datos sin control de calidad.						
* El uso de estos datos será de entera responsabilidad del usuario.					* El uso de estos datos será de entera responsabilidad del usuario.						
Leyenda:					Leyenda:						
* SID = Sin Datos.					* SID = Sin Datos.						
* T = Trazas (Precipitación < 0.1 mm/día).					* T = Trazas (Precipitación < 0.1 mm/día).						
Estación : GRANJA KAYRA					Estación : GRANJA KAYRA						
Departamento :	CUSCO	Provincia :	CUSCO	Distrito :	SAN JERONIMO	Departamento :	CUSCO	Provincia :	CUSCO	Distrito :	SAN JERONIMO
Latitud :	13°33'24.29"	Longitud :	71°52'30.61"	Altitud :	3214 msnm.	Latitud :	13°33'24.29"	Longitud :	71°52'30.61"	Altitud :	3214 msnm.
Tipo :	MAP - Meteorológica	Código :	100044			Tipo :	MAP - Meteorológica	Código :	100044		
AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		PRECIPITACIÓN (mm/día)		AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		PRECIPITACIÓN (mm/día)			
	MAX	MIN	HUMEDAD RELATIVA (%)	TOTAL		MAX	MIN	HUMEDAD RELATIVA (%)	TOTAL		
01/07/2020	23.4	-5.2	60.1	0	01/08/2019	21.2	-2.9	62.9	0		
02/07/2020	24	-2.5	62.7	0	02/08/2019	22.8	-1	64.3	0		
03/07/2020	22	3	76	0	03/08/2019	23.4	1.3	64.9	0		
04/07/2020	23.8	-2	73.6	0	04/08/2019	24	0	66.9	0		
05/07/2020	24.2	-0.5	65	0	05/08/2019	24	-6.6	46.1	0		
06/07/2020	22.4	1.5	68.9	0	06/08/2019	23.5	-5.8	46.7	0		
07/07/2020	21.8	-0.5	70.1	0	07/08/2019	22.4	-5.2	47.2	0		
08/07/2020	21.8	-2	65.9	0	08/08/2019	21.8	-4	44	0		
09/07/2020	19.2	-1.4	76	0	09/08/2019	21.8	-2.4	59.1	0		
10/07/2020	22.5	1.1	67.9	0	10/08/2019	21.6	-1.5	60.8	0		
11/07/2020	22.4	-0.9	60.6	0	11/08/2019	22.7	-2.5	58	0		
12/07/2020	22.4	0	69.3	0	12/08/2019	24.4	-1	59.1	0		
13/07/2020	22.8	0.3	67.7	8.2	13/08/2019	22	-0.9	65.4	0		
14/07/2020	20.6	6.2	63.1	0	14/08/2019	22.5	-0.8	62.8	0		
15/07/2020	20.5	1.5	77	0	15/08/2019	23	-1.6	54.9	0		
16/07/2020	23	1	67.1	0	16/08/2019	22.4	-3.7	61.3	0		
17/07/2020	23.6	-0.4	70.7	0	17/08/2019	24.7	-1.4	55.7	0		
18/07/2020	23.8	-0.5	63.3	0	18/08/2019	22.5	0.5	63.8	0		
19/07/2020	23.8	-1	59.6	0	19/08/2019	22.8	1.8	65.8	0		
20/07/2020	23.6	-1.6	57.9	0	20/08/2019	21.6	4.6	69.6	0		
21/07/2020	23.4	-4	59.7	0	21/08/2019	21.6	4	73	0		
22/07/2020	24.2	-2	57.9	0	22/08/2019	21.4	2.8	59.8	0		
23/07/2020	20.4	-0.3	64	0	23/08/2019	22.2	1.2	67.8	0		
24/07/2020	21.8	-0.5	73.6	0	24/08/2019	23.7	3.8	65.9	0		
25/07/2020	19.4	2.8	76.2	0	25/08/2019	21.2	2.2	68.5	0		
26/07/2020	22	1	65.1	0	26/08/2019	22.4	0.2	68.1	0		
27/07/2020	24.2	-1	62	0	27/08/2019	21.8	1.8	69.7	0		
28/07/2020	24.2	-2.5	61.3	0	28/08/2019	22.2	0.5	70.6	0		
29/07/2020	21.4	0	65.6	0	29/08/2019	23.5	0.6	62.8	0		
30/07/2020	23.2	1.2	70.1	0	30/08/2019	20.8	-1	63.4	0		
31/07/2020	24.6	-0.8	70.6	0	31/08/2019	21.1	2.8	67.4	0		



Anexo N°-06 Certificado De Calibración De Equipos De Laboratorio



PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 090 - 2023

Página : 1 de 8

Expediente : T 058-2023
Fecha de Emisión : 2023-02-02

1. Solicitante : PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.
Dirección : CAL MARIANO SANTOS CHOCANO LOTE. L-3 - SAN SEBASTIAN - CUSCO

2. Descripción del Equipo : ANILLO DE CARGA DE PRENSA CBR

Marca de Prensa : PINZUAR
Modelo de Prensa : PS-9
Serie de Prensa : 127
Código de Identificación : LSE013

Marca de Anillo : ELE
Modelo de Anillo : 1155B0800
Serie de Anillo : 1155-16-19810
Capacidad del Anillo : 28 kN

Marca del Dial : BAKER
Modelo del Dial : J62A
Serie del Dial : UFJ477
Código de Identificación : NO INDICA

3. Lugar y fecha de Calibración
CAL MARIANO SANTOS CHOCANO LOTE. L-3 - SAN SEBASTIAN - CUSCO
29 - ENERO - 2023

4. Método de Calibración
La calibración se realizó por el método de comparación del dial del anillo y la lectura de celda patrón.

5. Trazabilidad

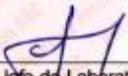
INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO O INFORME	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	AEP TRANSDUCERS	INF-LE 128-2022	UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERÚ
INDICADOR	HIGH WEIGHT		

6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	15,5	15,4
Humedad %	60	60

7. Observaciones
Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.





Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106
www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com
 PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 094 - 2023

Página : 1 de 6

Expediente : T 058-2023
Fecha de Emisión : 2023-02-02

1. Solicitante : PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.
Dirección : CAL MARIANO SANTOS CHOCANO LOTE L-3 - SAN SEBASTIAN - CUSCO

2. Descripción del Equipo : ANILLO DE CARGA DE COMPRESIÓN SIMPLE

Marca de Prensa : PINZUAR
Modelo de Prensa : PS-10
Serie de Prensa : 500
Código de Identificación : LSE022

Marca de Anillo : NO INDICA
Modelo de Anillo : NO INDICA
Serie de Anillo : 10102
Capacidad del Anillo : 10000 lbs

Marca del Dial : BAKER
Modelo del Dial : J62A
Serie del Dial : SLE837
Procedencia : NO INDICA
Código de Identificación : NO INDICA

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Lugar y fecha de Calibración
CAL MARIANO SANTOS CHOCANO LOTE L-3 - SAN SEBASTIAN - CUSCO
29 - ENERO - 2023

4. Método de Calibración
La calibración se realizó por el método de comparación del dial del anillo y la lectura de celda patrón.

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO O INFORME	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA INDICADOR	AEP TRANSDUCERS HIGH WEIGHT	INF-LE 128-2022	UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

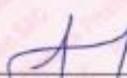
6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	14.2	14.2
Humedad %	67	67

7. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.




Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 853 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.