



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Universidad  
Andina  
del Cusco**

TESIS

---

INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP  
EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE  
DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO -  
DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022.

---

**Presentado por:**

Bach. Estrada Tueros, Max Amdhony.

Bach. Ferrer Ponce, Oscar Jesus.

**Para optar el Título Profesional de:**

Ingeniero Civil.

**Asesor:**

Mg. Ing. Eigner Román Villegas

CUSCO-PERÚ

2023



### Metadatos

| Datos del autor                                  |  |
|--|--|
| Nombres y apellidos                              | Max Amdhony Estrada Tueros                 |
| Número de documento de identidad                 | 48384884                                   |
| URL de Orcid                                     | 011300682h@uandina.edu.pe                  |
| Nombres y apellidos                              | Oscar Jesus Ferrer Ponce                   |
| Número de documento de identidad                 | 70513458                                   |
| URL de Orcid                                     | 011300039h@uandina.edu.pe                  |
| Datos del asesor                                 |  |
| Nombres y apellidos                              | Ing. Eigner Román Villegas                 |
| Número de documento de identidad                 | 23928061                                   |
| URL de Orcid                                     | eroman@uandina.edu.pe                      |
| Datos del jurado                                 |  |
| Presidente del jurado (jurado 1)                 |  |
| Nombres y apellidos                              | Mgt. Ing. Walter Roberto Alvarez Monterola |
| Número de documento de identidad                 | 24660325                                   |
| Jurado 2   |  |
| Nombres y apellidos                              | Mgt. Ing. John Charlie Oscco Orcochuaranca |
| Número de documento de identidad                 | 43999821                                   |
| Jurado 3   |  |
| Nombres y apellidos                              | Ing. Marco Antonio Silva Palomino.         |
| Número de documento de identidad                 | 23862951                                   |
| Jurado 4   |  |
| Nombres y apellidos                              | Ing. Heber Darwin Gutierrez Vallejo.       |
| Número de documento de identidad                 | 23921471                                   |
| Datos de la investigación                        |  |
| Línea de investigación de la Escuela Profesional | Geotecnia - Suelos                         |



# INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBAST

**Submission date:** 19-Oct-2023 04:21PM (UTC-0500)

**Submission ID:** 2198663345

**File name:** TESIS\_ESTRADA-FERRER-FINAL\_-\_T\_1.pdf (11.89M)

**Word count:** 44992

by Oscar Jesus. Bach. Ferrer Ponce

**Character count:** 237058

ING. EIGNER ROMAN VILLEGAS.  
Docente Asesor.



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

<sup>3</sup>  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Universidad  
Andina  
del Cusco**

TESIS

---

<sup>6</sup>  
INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP  
EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE  
DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO -  
DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022.

---

**Presentado por:**

Bach. Estrada Tueros, Max Amdhony.

Bach. Ferrer Ponce, Oscar Jesus.

**Para optar el Título Profesional de:**

Ingeniero Civil.

**Asesor:**

Mg. Ing. Eigner Román Villegas

CUSCO-PERÚ

2023

---

ING. EIGNER ROMAN VILLEGAS.  
Docente Asesor.



# TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECHANICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBAST

## ORIGINALITY REPORT

18%

SIMILARITY INDEX

22%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

14%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | Submitted to Universidad Andina del Cusco<br>Student Paper | 6% |
| 2 | repositorio.uandina.edu.pe<br>Internet Source              | 4% |
| 3 | hdl.handle.net<br>Internet Source                          | 2% |
| 4 | documentop.com<br>Internet Source                          | 2% |
| 5 | repositorio.utea.edu.pe<br>Internet Source                 | 2% |
| 6 | Submitted to Universidad Continental<br>Student Paper      | 1% |
| 7 | vsip.info<br>Internet Source                               | 1% |
| 8 | docplayer.es<br>Internet Source                            | 1% |

ING. EIGNER ROMAN VILLEGAS.  
Docente Asesor.



## 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: Oscar Jesus. Bach. Ferrer Ponce  
Assignment title: ESTABILIZADOR Z  
Submission title: INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAN...  
File name: TESIS\_ESTRADA-FERRER-FINAL\_-\_T\_1.pdf  
File size: 11.89M  
Page count: 220  
Word count: 44,992  
Character count: 237,058  
Submission date: 19-Oct-2023 04:21PM (UTC-0500)  
Submission ID: 2198663346

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Universidad  
Andina  
del Cusco**

TESIS

---

INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP  
EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE  
DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO -  
DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022.

---

**Presentado por:**  
Bach. Estrada Tueros, Max Amdhony.  
Bach. Ferrer Ponce, Oscar Jesus.

**Para optar el Título Profesional de:**  
Ingeniero Civil.

**Asesor:**  
Mg. Ing. Eigner Román Villegas

CUSCO-PERÚ  
2023

ING. EIGNER ROMAN VILLEGAS.  
Docente Asesor.



## Dedicatoria

*Agradezco a Dios por haberme encaminado y guiado por todo este trayecto, poniendo en mi camino a las personas adecuadas y dándome todo lo necesario para lograr mis metas en mi vida profesional.*

*Agradezco a mis padres Dianet y Oscar, por su amor, cuidado, perseverancia y apoyo incondicional que siempre me brindaron, quienes siempre fueron mi fuerza y motor para salir adelante con sus consejos y ejemplo por lo cual les estaré agradecido siempre.*

*A mi hermana Diana, por todos sus consejos y su amor incondicional durante toda mi etapa profesional y en mi vida, por enseñarme que con su ejemplo de esfuerzo y perseverancia siempre se tendrán resultados positivos en la vida.*

***Oscar Jesus Ferrer Ponce***



*Dedico esta investigación a Dios por acompañarme y guiarme en cada paso por mi camino,  
por darme la fuerza para seguir adelante y conseguir las cosas anheladas para mí y mi  
familia.*

*A mis padres, Max y Yolanda, por su amor, aliento y apoyo infinito en todo momento de mi  
vida, quienes con sus consejos y cariño me enseñaron a persistir en mis metas, quienes  
confían en mí y celebran orgullosos cada logro obtenido.*

*A mi hermano Patrick, por su compañía en mi formación académica, sé que sigue mis pasos  
por lo cual tengo que ser un buen ejemplo y guía para él.*

*A mi familia y personas que siempre estuvieron, gracias por su constancia y compañía en  
esta vida.*

***Max Amdhony Estrada Tueros***



## Agradecimientos

*Dedicamos este trabajo a nuestras familias como una expresión de gratitud por el esfuerzo y apoyo constante que nos han brindado a lo largo de la realización de esta investigación y a lo largo de nuestras vidas.*

*A nuestro asesor, el Ing. Eigner Román Villegas, ya que con su apoyo profesional pudo ser posible la realización del presente trabajo.*

*A los docentes de nuestra escuela profesional, por su apoyo, conocimiento y enseñanzas a lo largo de nuestra de la vida universitaria.*

*A los miembros del laboratorio de Suelos, concreto y pavimentos de la Universidad Andina del Cusco por su valiosa cooperación en la realización de los ensayos.*



## Resumen

La presente investigación “Influencia del Estabilizador z y el Cemento Portland tipo IP en las propiedades fisicomecánicas del suelo de subrasante de la prolongación José Carlos Mariátegui - Alto Qosqo - Distrito de San Sebastián- Cusco - 2022.” tiene el objetivo principal de evaluar la influencia del Estabilizador Z (1%, 2% y 4%) y el Cemento portland tipo IP (4%) en las propiedades fisicomecánicas del suelo de la subrasante de la prolongación José Carlos Mariátegui. El enfoque de la presente investigación es cuantitativo, el nivel o alcance es de nivel descriptivo – explicativo, y en cuanto a su diseño es una investigación experimental.

Se han realizado ensayos estándar de Granulometría y Límites de consistencia para la clasificación de suelos, y ensayos especiales como Proctor modificado y Capacidad de soporte CBR para la resistencia a la compresión, estos ensayos se realizaron en el laboratorio de la Universidad Andina del Cusco al suelo natural así como al suelo con la adición de Cemento portland tipo IP en un 4% y Estabilizador Z en 1%, 2% y 4% respectivamente, para luego presentar los resultados obtenidos mediante tablas y figuras, a partir de las cuales se evaluarán las variaciones en las características físico mecánicas del suelo para subrasante. A partir del análisis e interpretación de nuestros resultados se concluye que los valores del índice de Plasticidad del suelo natural es de 7.67% y con adición de Cemento y Estabilizador Z obtenemos los valores de 7.93%, 8.61%, 9.10% y 5.26% lo cual nos indica que existe una disminución del índice de plasticidad, las pruebas del ensayo de compactación utilizando energía modificada del suelo natural nos dan un contenido de humedad óptimo de 15.20%, con la adición de 4% Cemento 15.90% y para la adición del Cemento y Estabilizador Z los valores de 14.60%, 14.50% y 14%, este último obtenido con la adición de 4% Cemento y 4% Estabilizador Z, escogiendo el contenido óptimo de humedad del 14% ya que es el menor valor obtenido el cual posee una densidad máxima seca de 1.78 gr/cm<sup>3</sup>, el índice de capacidad de soporte CBR al 95% de la densidad máxima seca del suelo natural es de 10.07% mientras que con la adición de Cemento y Estabilizador Z se obtiene valores de 63.20%, 56.79%, 67.80% y 99.95% siendo este último nuestro mejor CBR para una adición de 4% de Cemento y 4% de Estabilizador Z .

**Palabras Clave:** Propiedades fisicomecánicas, estabilización del suelo, adición de cemento y estabilizador Z, subrasante.



### Abstract

The present investigation "Influence of the Stabilizer z and the Portland Cement type IP on the physicommechanical properties of the subgrade soil of the extension José Carlos Mariátegui - Alto Qosqo - District of San Sebastián-Cusco - 2022." has the main objective of evaluating the influence of Stabilizer Z (1%, 2% and 4%) and Portland Cement type IP (4%) on the physicommechanical properties of the soil of the subgrade of the José Carlos Mariátegui extension. The approach of the present investigation is quantitative, the level or scope is descriptive - explanatory level, and in terms of its design it is an experimental investigation.

Standard granulometry and consistency limits tests have been carried out for the classification of soils, and special tests such as modified Proctor for the degree of compaction and CBR support capacity for compressive strength, these tests were carried out in the laboratory of the University Andina del Cusco to the natural soil as well as to the soil with the addition of Portland Cement type IP in 4% and Stabilizer Z in 1%, 2% and 4% respectively, to then present the results obtained through tables and figures, from which will evaluate the variations in the physical-mechanical characteristics of the soil for subgrade. From the analysis and interpretation of our results, it is concluded that the values of the plasticity index of the natural soil is 7.67% and with the addition of Cement and Z Stabilizer we obtain the values of 7.93%, 8.61%, 9.10% and 5.26%, which indicates that there is a decrease in the plasticity index, the tests of the compaction test using modified energy of the natural soil give us an optimum moisture content of 15.20%, with the addition of 4% Cement 15.90% and for the addition of Cement and Stabilizer Z the values of 14.60%, 14.50% and 14%, the latter obtained with the addition of 4% Cement and 4% Stabilizer Z, choosing the optimal moisture content of 14% since it is the lowest value obtained which has a maximum dry density of 1.78 gr/cm<sup>3</sup>, the CBR support capacity index at 95% of the maximum dry density of natural soil is 10.07% while with the addition of Cement and Z Stabilizer values of 63.20%, 56.79% are obtained, 67.80% and 99.95%, the latter being our best CBR for an addition of 4% Cement and 4% Z Stabilizer.

**Keywords:** Physicommechanical properties, soil stabilization, addition of cement and Z stabilizer, subgrade.



## Introducción

En el Perú la construcción de nuevas carreteras, redes viales son de vital importancia para el desarrollo y sostenibilidad de nuestro país, en muchos casos el principal problema que presentan las carreteras son las pésimas condiciones del suelo (no cumplen las propiedades mínimas necesarias para la vía) lo que trae problemas como presencia de baches, polvo excesivo, hundimiento, deformaciones, por lo que se opta diferentes métodos de estabilización de suelos, nuestra región con sus climas variados no es ajeno a esta problemática, por lo que se busca diversos métodos y materiales para la estabilización de suelos de acuerdo a la zona y según sus características.

La presente investigación nos da un enfoque de la problemática de los diferentes tipos de suelos y sus combinaciones que existen en la Prolongación José Carlos Mariátegui en el distrito de San Sebastián - Cusco, por lo que utilizar procesos constructivos para poder preparar adecuadamente la subrasante de una pavimentación, se vuelve cada vez más tedioso y complicado, por lo cual optamos utilizar el Estabilizador Z y Cemento Portland tipo IP en combinación y comparación para identificar como influyen en las propiedades físico mecánicas del suelo de subrasante, dándole estabilidad y proponiendo nuevas alternativas gracias al avance de la tecnología.

Se tomo muestras del suelo proveniente de un tramo de la “Prolongación José Carlos Mariátegui distrito de San Sebastián” en estudio, para así poder realizar los ensayos y ver como influyen en las propiedades físicas y mecánicas del suelo estabilizado con el Estabilizador Z y Cemento Portland tipo IP.

El presente tema de investigación está estructurado de la siguiente manera: Capítulo I: Planteamiento del Problema, Capítulo II: Marco teórico de la tesis, capítulo III: Metodología Capítulo IV: Resultados, anexos.

Las fuentes bibliográficas provienen de libros, tesis, artículos científicos dedicados a estudios de mecánica de suelos, estabilización de suelos, tipos de estabilización de suelos y a normas que rigen sobre los ensayos de laboratorio correspondientes al tema de investigación, como son la norma técnica peruana (NTP) y manual de carreteras (MTC).

El tipo de investigación a realizar es cuantitativo, dado un nivel descriptivo, intentando analizar las propiedades y características de las variables que obtendremos en nuestra investigación.



## Índice general

|   |      |
|---|------|
| Dedicatoria .....   | i    |
| Agradecimientos.....                                      | iii  |
| Resumen .....   | iv   |
| Abstract .....  | v    |
| Introducción .....  | vi   |
| Índice de Tablas .....                                    | x    |
| Índice de Figuras .....                                   | xiii |
| Capítulo I: Planteamiento del problema.....               | 1    |
| 1.1. Identificación del problema .....                    | 1    |
| 1.1.1. Descripción del Problema. ....                     | 1    |
| 1.1.2. Formulación Interrogativa del problema.....        | 4    |
| 1.2. Justificación e Importancia de la investigación..... | 4    |
| 1.2.1. Justificación Técnica .....                        | 4    |
| 1.2.2. Justificación Social.....                          | 5    |
| 1.2.3. Justificación por Viabilidad .....                 | 5    |
| 1.2.4. Justificación por Relevancia.....                  | 5    |
| 1.3. Limitaciones de la Investigación .....               | 6    |
| 1.3.1. Limitaciones geográficas.....                      | 6    |
| 1.3.2. Limitaciones de diseño.....                        | 6    |
| 1.3.3. Limitaciones de ensayos en laboratorio .....       | 6    |
| 1.4. Objetivos de la investigación.....                   | 7    |
| 1.4.1. Objetivo General .....                             | 7    |
| 1.4.2. Objetivos Específicos .....                        | 7    |
| Capitulo II: Marco Teórico .....                          | 8    |
| 2.1. Antecedentes de la Investigación Actual.....         | 8    |
| 2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional .....                | 8    |
| 2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional.....            | 13   |
| 2.2. Aspectos teóricos pertinentes .....                  | 20   |
| 2.2.1. El suelo.....                                      | 20   |
| 2.2.2. Propiedades Físicas del Suelo. ....                | 27   |
| 2.2.3. Propiedades Mecánicas del Suelo. ....              | 30   |
| 2.2.4. Ensayos de Laboratorio para suelos. ....           | 33   |



|                                |  |     |
|--------------------------------|--|-----|
| 2.2.5.                         | Polímero.....  | 53  |
| 2.2.6.                         | Estabilizador Z.....                                   | 56  |
| 2.2.7.                         | Tipos de Cemento.....                                  | 58  |
| 2.2.8.                         | Cemento Portland Tipo IP.....                          | 59  |
| 2.3.                           | Hipótesis.....   | 60  |
| 2.3.1.                         | Hipótesis General.....                                 | 60  |
| 2.3.2.                         | Sub-Hipótesis.....                                     | 60  |
| 2.4.                           | Definición de Variables.....                           | 61  |
| 2.4.1.                         | Variables Independientes.....                          | 61  |
| 2.4.2.                         | Variables Dependientes.....                            | 61  |
| 2.4.3.                         | Cuadro de Operacionalización de Variables.....         | 62  |
| Capitulo III: Metodología..... |  | 63  |
| 3.1.                           | Metodología de la Investigación.....                   | 63  |
| 3.1.1.                         | Enfoque de la Investigación.....                       | 63  |
| 3.1.2.                         | Nivel o alcance de la Investigación.....               | 63  |
| 3.1.3.                         | Método de investigación.....                           | 63  |
| 3.2.                           | Diseño de la Investigación.....                        | 64  |
| 3.2.1.                         | Diseño Metodológico.....                               | 64  |
| 3.2.2.                         | Diseño de Ingeniería.....                              | 65  |
| 3.3.                           | Población y Muestra.....                               | 66  |
| 3.3.1.                         | Población.....   | 66  |
| 3.3.2.                         | Muestra.....   | 67  |
| 3.3.3.                         | Criterios de Inclusión.....                            | 68  |
| 3.4.                           | Instrumentos.....                                      | 69  |
| 3.4.1.                         | Instrumentos de recolección de datos.....              | 69  |
| 3.4.2.                         | Instrumentos de Ingeniería.....                        | 73  |
| 3.5.                           | Procedimiento de Recolección de Datos.....             | 78  |
| 3.5.1.                         | Ensayo de Granulometría.....                           | 78  |
| 3.5.2.                         | Ensayo de Límites de consistencia.....                 | 84  |
| 3.5.3.                         | Ensayo de Proctor modificado.....                      | 96  |
| 3.5.4.                         | Ensayo de Relación de Soporte de California (CBR)..... | 106 |
| 3.6.                           | Procedimiento de Análisis de datos.....                | 121 |
| 3.6.1.                         | Ensayo de Granulometría por Tamizado.....              | 121 |



|   |     |
|---|-----|
| 3.6.2. Ensayo de Limites de Consistencia .....                  | 130 |
| 3.6.3. Ensayo de Proctor Modificado .....                       | 146 |
| 3.6.4. Ensayo de Capacidad de Soporte CBR .....                 | 157 |
| Capitulo IV: Resultados .....                                   | 174 |
| 4.1. Resultados respecto a los objetivos específicos .....      | 174 |
| 4.1.1. Resultados de Ensayo de Granulometría por Tamizado ..... | 174 |
| 4.1.2. Resultados de Ensayo de Limites de Consistencia .....    | 177 |
| 4.1.3. Resultados de Ensayo de Proctor Modificado .....         | 179 |
| 4.1.3. Resultados de Ensayo de Capacidad de Soporte CBR.....    | 181 |
| Capítulo V: Discusión .....                                     | 183 |
| Glosario .....  | 185 |
| Conclusiones .....  | 187 |
| Recomendaciones.....  | 189 |
| Referencias .....   | 190 |
| Anexos .....  | 192 |



## Índice de Tablas

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Tabla 1.  | Índice de CBR.....  | 22  |
| Tabla 2.  | Clasificación Internacional de la granulometría del suelo.....  | 27  |
| Tabla 3.  | Clasificación granulométrica 1936, Alemania.....  | 27  |
| Tabla 4.  | Capacidad de soporte CBR. ....  | 32  |
| Tabla 5.  | Polímeros de adición de uso frecuente.....  | 55  |
| Tabla 6.  | Polímeros de condensación de uso frecuente.....   | 55  |
| Tabla 7.  | Composición química del cemento.....  | 59  |
| Tabla 8.  | Resumen de la cuantificación de ensayos realizados en la muestra. ....  | 67  |
| Tabla 9.  | Formato de recolección de datos para el ensayo de granulometría. ....   | 69  |
| Tabla 10. | Formato de recolección de datos para los ensayos de Limite Líquido y Limite Plástico. ....  | 70  |
| Tabla 11. | Formato de recolección de datos para el ensayo de Proctor Modificado. ....  | 71  |
| Tabla 12. | Formato de recolección de datos para el ensayo de Relación de soporte de California (CBR). ....   | 72  |
| Tabla 13. | Recolección de datos del ensayo de Granulometría, Calicata C-1. ....  | 81  |
| Tabla 14. | Recolección de datos del ensayo de Granulometría, Calicata C-2. ....  | 82  |
| Tabla 15. | Recolección de datos del ensayo de Granulometría, Calicata C-3. ....  | 82  |
| Tabla 16. | Recolección de datos del ensayo de Granulometría, Calicata C-4. ....  | 83  |
| Tabla 17. | Recolección de datos del ensayo de Granulometría, Calicata C-5. ....  | 83  |
| Tabla 18. | Recolección de datos del ensayo de Límites de Consistencia (L. Líquido y L. plástico), Calicata C-1.....  | 89  |
| Tabla 19. | Recolección de datos del ensayo de Límites de Consistencia (L. Líquido y L. plástico), Calicata C-2.....  | 90  |
| Tabla 20. | Recolección de datos del ensayo de Límites de Consistencia (L. Líquido y L. plástico), Calicata C-5.....  | 91  |
| Tabla 21. | Recolección de datos del ensayo de Límites de Consistencia (L. Líquido y L. plástico), C-5 + 4% de Cemento Portland IP. ....                          | 92  |
| Tabla 22. | Recolección de datos del ensayo de Límites de Consistencia (L. Líquido y L. plástico), C-5 + 4% de Cemento Portland Tipo IP + 1% Estabilizador Z..... | 93  |
| Tabla 23. | Recolección de datos del ensayo de Límites de Consistencia (L. Líquido y L. plástico), C-5 + 4% de Cemento Portland Tipo IP + 2% Estabilizador Z..... | 94  |
| Tabla 24. | Recolección de datos del ensayo de Límites de Consistencia (L. Líquido y L. plástico), C-5 + 4% de Cemento Portland Tipo IP + 4% Estabilizador Z..... | 95  |
| Tabla 25. | Recolección de datos del ensayo de Proctor Modificado. Suelo Natural. ....  | 101 |



|  |     |
|--|-----|
| Tabla 26. Recolección de datos del ensayo de Proctor Modificado. Suelo Natural + 4% Cemento Portland IP. ....  | 102 |
| Tabla 27. Recolección de datos del ensayo de Proctor Modificado. Suelo Natural + 4% Cemento Portland + 1% Estabilizador Z. ....                            | 103 |
| Tabla 28. Recolección de datos del ensayo de Proctor Modificado. Suelo Natural + 4% Cemento Portland + 2% Estabilizador Z. ....                            | 104 |
| Tabla 29. Recolección de datos del ensayo de Proctor Modificado. Suelo Natural + 4% Cemento Portland + 4% Estabilizador Z. ....                            | 105 |
| Tabla 30. Recolección de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR. Suelo Natural.  | 114 |
| Tabla 31. Recolección de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR. Suelo Natural +4% de Cemento Portland. ....   | 115 |
| Tabla 32. Recolección de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR. Suelo Natural +4% de Cemento Portland +1% de Estabilizador Z. ....                  | 117 |
| Tabla 33. Recolección de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR. Suelo Natural +4% de Cemento Portland +2% de Estabilizador Z. ....                  | 118 |
| Tabla 34. Recolección de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR. Suelo Natural +4% de Cemento Portland +4% de Estabilizador Z. ....                  | 120 |
| Tabla 35. Análisis de datos del ensayo de Granulometría por tamizado – Calicata C-1. ....  | 122 |
| Tabla 36. Análisis de datos del ensayo de granulometría por tamizado – Calicata C-2. ....  | 123 |
| Tabla 37. Análisis de datos del ensayo de granulometría por tamizado – Calicata C-3. ....  | 125 |
| Tabla 38. Análisis de datos del ensayo de granulometría por tamizado – Calicata C-4. ....  | 126 |
| Tabla 39. Curva granulométrica, Calicata C-4. ....   | 127 |
| Tabla 40. Análisis de datos del ensayo de granulometría por tamizado – Calicata C-5. ....  | 128 |
| Tabla 41. Curva granulométrica, Calicata C-5. ....   | 129 |
| Tabla 42. Tabla resumen de resultados del Análisis Granulométrico por Tamizado del Suelo de las Calicatas. ....  | 129 |
| Tabla 43. Análisis de datos del ensayo límites de consistencia (Líquido y plástico) – Calicata C-1.  | 131 |
| Tabla 44. Análisis de datos del ensayo límites de consistencia (Líquido y plástico) – Calicata, C-2.   | 133 |
| Tabla 45. Análisis de datos del ensayo límites de consistencia (Líquido y plástico) – Calicata C-5.  | 135 |
| Tabla 46. Análisis de datos del ensayo límites de consistencia (Líquido y plástico) – Suelo Natural + 4% de Cemento Portland. ....                         | 137 |
| Tabla 47. Análisis de datos del ensayo límites de consistencia (Líquido y plástico) – Suelo Natural + 4% de Cemento Portland + 1% de Estabilizador Z. .... | 139 |



|   |     |
|---|-----|
| Tabla 48. Análisis de datos del ensayo límites de consistencia (Líquido y plástico) – Suelo Natural + 4% de Cemento Portland + 2% de Estabilizador Z..... | 141 |
| Tabla 49. Análisis de datos del ensayo límites de consistencia (Líquido y plástico) – Suelo Natural + 4% de Cemento Portland + 4% de Estabilizador Z..... | 143 |
| Tabla 50. Tabla resumen de resultados de Límites de Consistencia, Suelo Natural de las Calicatas.   | 144 |
| Tabla 51. Tabla resumen de resultados de Límites de Consistencia. Suelo Natural con la Adición de Cemento y Estabilizador Z. ....                         | 145 |
| Tabla 52. Análisis de datos del ensayo de Proctor modificado, Suelo Natural .....   | 147 |
| Tabla 53. Análisis de datos del ensayo de Proctor modificado, Suelo Natural + 4% Cemento Portland IP.....   | 149 |
| Tabla 54. Análisis de datos del ensayo de Proctor modificado, Suelo Natural + 4% Cemento Portland IP + 1% Estabilizador Z.....                            | 151 |
| Tabla 55. Análisis de datos del ensayo de Proctor modificado, Suelo Natural + 4% Cemento Portland IP + 2% Estabilizador Z.....                            | 153 |
| Tabla 56. Análisis de datos del ensayo de Proctor modificado, Suelo Natural + 4% Cemento Portland IP + 4% Estabilizador Z.....                            | 155 |
| Tabla 57. Resumen del ensayo Proctor Modificado del Suelo natural y con las diferentes dosificaciones de Cemento Portland y Estabilizador Z.....          | 156 |
| Tabla 58. Análisis de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR, Suelo Natural. ....   | 158 |
| Tabla 59. Análisis de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR, Suelo Natural +4% de Cemento Portland.....  | 161 |
| Tabla 60. Análisis de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR, Suelo Natural +4% Cemento Portland +1% de Estabilizador Z. ....                       | 164 |
| Tabla 61. Análisis de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR, Suelo Natural +4% Cemento Portland +2% de Estabilizador Z. ....                       | 167 |
| Tabla 62. Análisis de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR, Suelo Natural +4% Cemento Portland +4% de Estabilizador Z. ....                       | 170 |
| Tabla 63. Resumen del ensayo de Capacidad de Soporte CBR del Suelo natural y con las diferentes dosificaciones de Cemento Portland y Estabilizador Z..... | 172 |



## Índice de Figuras

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 1.  | Plano de Ubicación de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo.....   | 2  |
| Figura 2.  | Situación Actual de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo. ....  | 3  |
| Figura 3.  | Situación Actual de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo. ....  | 3  |
| Figura 4.  | Estructura de un pavimento flexible. ....  | 25 |
| Figura 5.  | Estructura de un pavimento flexible. ....  | 25 |
| Figura 6.  | Estructura de un pavimento flexible. ....  | 26 |
| Figura 7.  | Clasificación granulométrica 1936, Alemania.....   | 28 |
| Figura 8.  | Límites de Atterberg. ....   | 30 |
| Figura 9.  | Herramientas para hallar Limite Liquido.....   | 34 |
| Figura 10. | Equipos para ensayo CBR de suelos.....   | 39 |
| Figura 11. | Determinación del valor de la relación de soporte CBR en laboratorio. ....   | 43 |
| Figura 12. | Molde cilíndrico de 4,0 pulg. ....   | 49 |
| Figura 13. | Molde cilíndrico de 6,0 pulg. ....   | 49 |
| Figura 14. | Ejemplo de Gráfico de Curva de Compactación.....   | 51 |
| Figura 15. | Diagrama de flujo del Diseño de Investigación.....   | 65 |
| Figura 16. | Ensayos de Granulometría y Limites de Consistencia en Calicatas. ....  | 66 |
| Figura 17. | Instrumentos de ingeniería para el ensayo de Granulometría.....  | 74 |
| Figura 18. | Instrumentos de ingeniería para el ensayo de Limites de Consistencia.....  | 75 |
| Figura 19. | Instrumentos de ingeniería para el ensayo de Proctor modificado. ....  | 76 |
| Figura 20. | Instrumentos de ingeniería para el ensayo de Capacidad de Soporte (CBR) .....  | 77 |
| Figura 21. | Preparación de muestra de aproximadamente 2000.00 gr. para ensayo granulométrico a través del método del cuarteo manual..... | 79 |
| Figura 22. | Lavado del material cuarteado usando la malla N° 200 y llevado al horno para un secado de 24 horas.....                      | 79 |
| Figura 23. | Muestra seca retirada del horno y pesada en la balanza de precisión de 0.01 gr...  | 80 |
| Figura 24. | Muestra de suelo distribuida y retenida por cada tamiz.....  | 80 |
| Figura 25. | Pesos retenidos por cada tamiz. ....   | 81 |
| Figura 26. | Preparación de suelo de aproximadamente 200gr. hasta lograr una mezcla pastosa y homogénea. ....                             | 84 |
| Figura 27. | Calibración de copa, colocación de suelo y acanalado. ....   | 85 |
| Figura 28. | Obtención de muestra para limite líquido y pesaje respectivo. ....   | 86 |
| Figura 29. | Respectivo etiquetado y colocado al horno de secado para determinar su contenido de humedad. ....                            | 86 |



|  |     |
|--|-----|
| Figura 30. Preparación de la muestra para el enrollado con los dedos de mano formando cilindros. 87  |     |
| Figura 31. Peso de tara y muestra de suelo para determinar contenido de humedad. .... 88   | 88  |
| Figura 32. Secado, desmenuzado y tamizado de la muestra para el estudio. .... 97   | 97  |
| Figura 33. Adición de agua en los porcentajes establecidos y mezclado de la muestra..... 98  | 98  |
| Figura 34. División de la muestra en 5 partes iguales, y compactación en 5 capas. .... 98  | 98  |
| Figura 35. Enrasado de superficie y registro del molde más suelo compactado. .... 99   | 99  |
| Figura 36. Extracción de espécimen, registro de peso de la muestra representativa del suelo para determinar contenido de humedad. .... 100 | 100 |
| Figura 37. Secado y tamizado de la muestra para el estudio. .... 107   | 107 |
| Figura 38. Mezclado de suelo con cemento, agua, aditivo correspondiente y división de la muestra en 05 partes iguales..... 108             | 108 |
| Figura 39. Ensamblaje y peso del molde CBR, colocación del papel filtro y compactación de 05 capas en el molde. .... 109                   | 109 |
| Figura 40. Enrasado y retiro del molde CBR, colocación del papel filtro, colocación inversa del molde CBR. .... 110                        | 110 |
| Figura 41. Colocación del vástago y las pesas metálicas, inmersión de los moldes CBR en agua durante 04 días. .... 111                     | 111 |
| Figura 42. Medición de expansión de las muestras sumergidas en agua, retiro de las muestras, pesado de las muestras. .... 112              | 112 |
| Figura 43. Ensayo del material en la máquina de compresión y extracción de muestra para llevar al horno..... 113                           | 113 |
| Figura 44. Curva granulométrica, Calicata C-1. .... 123  | 123 |
| Figura 45. Curva granulométrica, Calicata C-2. .... 124  | 124 |
| Figura 46. Curva granulométrica, Calicata C-3. .... 126  | 126 |
| Figura 47. Límite Líquido de Suelo Natural, Calicata C-1. .... 132   | 132 |
| Figura 48. Límite Líquido de Suelo Natural, Calicata C-2. .... 134   | 134 |
| Figura 49. Límite Líquido de Suelo Natural Calicata C-5. .... 136  | 136 |
| Figura 50. Límite Líquido de Suelo Natural + 4% Cemento Portland..... 138  | 138 |
| Figura 51. Límite Líquido de Suelo Natural + 4% Cemento Portland + 1% de Estabilizador Z. 140  | 140 |
| Figura 52. Límite Líquido de Suelo Natural + 4% Cemento Portland + 2% de Estabilizador Z. 142  | 142 |
| Figura 53. Límite Líquido de Suelo Natural + 4% Cemento Portland + 4% de Estabilizador Z. 144  | 144 |
| Figura 54. Grafica de Proctor Modificado, Suelo Natural. .... 148  | 148 |



|   |     |
|---|-----|
| Figura 55. Grafica de Proctor Modificado, Suelo Natural + 4% Cemento Portland Tipo IP.<br>150   |     |
| Figura 56. Grafica de Proctor Modificado, Suelo Natural + 4% Cemento Portland Tipo IP +<br>1% Estabilizador Z. ....                           | 152 |
| Figura 57. Grafica de Proctor Modificado, Suelo Natural + 4% Cemento Portland Tipo IP +<br>2% Estabilizador Z. ....                           | 154 |
| Figura 58. Grafica de Proctor Modificado, Suelo Natural + 4% Cemento Portland Tipo IP +<br>4% Estabilizador Z. ....                           | 156 |
| Figura 59. Grafica de Capacidad de Soporte CBR, Relación Esfuerzo – Deformación, Suelo<br>Natural. 159  |     |
| Figura 60. Grafica de Capacidad de Soporte, Densidad Seca – CBR, Suelo Natural. ....  | 160 |
| Figura 61. Grafica de Capacidad de Soporte CBR, Relación Esfuerzo – Deformación, Suelo<br>Natural +4% de Cemento Portland.....                | 162 |
| Figura 62. Grafica de Capacidad de Soporte, Densidad Seca – CBR, Suelo Natural +4% de<br>Cemento Portland.....                                | 163 |
| Figura 63. Grafica de Capacidad de Soporte CBR, Relación Esfuerzo – Deformación, Suelo<br>Natural +4% de Cemento +1% de Estabilizador Z. .... | 165 |
| Figura 64. Grafica de Capacidad de Soporte, Densidad Seca – CBR, Suelo Natural +4% de<br>Cemento Portland +1% de Estabilizador Z. ....        | 166 |
| Figura 65. Grafica de Capacidad de Soporte CBR, Relación Esfuerzo – Deformación, Suelo<br>Natural +4% de Cemento +2% de Estabilizador Z. .... | 168 |
| Figura 66. Grafica de Capacidad de Soporte, Densidad Seca – CBR, Suelo Natural +4% de<br>Cemento Portland +2% de Estabilizador Z. ....        | 169 |
| Figura 67. Grafica de Capacidad de Soporte CBR, Relación Esfuerzo – Deformación, Suelo<br>Natural +4% de Cemento +4% de Estabilizador Z. .... | 171 |
| Figura 68. Grafica de Capacidad de Soporte, Densidad Seca – CBR, Suelo Natural +4% de<br>Cemento Portland +4% de Estabilizador Z. ....        | 172 |
| Figura 69. Distribución del tamaño de partícula del ensayo granulométrico del suelo de la<br>Calicata C-1.....                                | 174 |
| Figura 70. Distribución del tamaño de partícula del ensayo granulométrico del suelo de la<br>Calicata C-2.....                                | 175 |
| Figura 71. Distribución del tamaño de partícula del ensayo granulométrico del suelo de la<br>Calicata C-3.....                                | 175 |
| Figura 72. Distribución del tamaño de partícula del ensayo granulométrico del suelo de la<br>Calicata C-4.....                                | 176 |
| Figura 73. Distribución del tamaño de partícula del ensayo granulométrico del suelo de la<br>Calicata C-5.....                                | 176 |



|  |     |
|--|-----|
| Figura 74. Limite Liquido del suelo natural y las diferentes dosificaciones de Cemento y Estabilizador Z. ....                                     | 177 |
| Figura 75. Limite Plástico del suelo natural y las diferentes dosificaciones de Cemento y Estabilizador Z. ....                                    | 178 |
| Figura 76. Índice de Plasticidad del suelo natural y las diferentes dosificaciones de Cemento y Estabilizador Z. ....                              | 178 |
| Figura 77. Densidad Máxima Seca del suelo natural y las diferentes dosificaciones de Cemento y Estabilizador Z. ....                               | 179 |
| Figura 78. Contenido Optimo de Humedad del suelo natural y las diferentes dosificaciones de Cemento y Estabilizador Z. ....                        | 180 |
| Figura 79. Densidad Máxima seca y Contenido Optimo de Humedad del suelo natural y las diferentes dosificaciones de Cemento y Estabilizador Z. .... | 180 |
| Figura 80. CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca del suelo natural y las diferentes dosificaciones de Cemento y Estabilizador Z. ....              | 181 |
| Figura 81. Expansión del CBR del suelo natural y las diferentes dosificaciones de Cemento y Estabilizador Z. ....                                  | 182 |



## Capítulo I: Planteamiento del problema

### 1.1. Identificación del problema

#### 1.1.1. Descripción del Problema.

El sector de Alto Qosqo del distrito de San Sebastián - Cusco, está conformado por 94 APVS, con una población de 26791 habitantes (según el estudio de Redes colectoras de desagüe - Alto Qosqo, Distrito de San Sebastián, Cusco del año 2014), dicha población se incrementa cada año al ser un área de expansión urbana, por lo tanto, presenta distintos problemas, uno de ellos que carece de una adecuada infraestructura vial.

En la presente investigación nos centramos en La Prolongación José Carlos Mariátegui que empieza a la altura del 5° paradero de la Av. la Cultura y termina donde interseca con la prolongación Camino Real, del distrito de San Sebastián - Cusco, es una vía bastante transitada ya que es uno de los pocos accesos que tiene el sentido de retorno hacia la Av. la cultura, presentando un IMDA promedio de 2500 vehículos, por lo que tiene alto tránsito de buses de transporte como la empresa Arco Iris, camiones de carga y vehículos particulares.

La Prolongación José Carlos Mariátegui tiene una longitud de 1.68 kilómetros, con un ancho promedio de 6 metros, presenta pavimento rígido desde su inicio en la Av. la Cultura hasta la progresiva km 0+680, el resto de su tramo hasta la progresiva km 1+680 está en condición de vía no pavimentada, dicho tramo fue elegido para realizar el estudio por su condición, debido al tipo de suelo limo-arcilloso, alto tránsito vehicular y peatonal, factores climáticos muy variantes, baja capacidad de soporte CBR, demuestran que se encuentra en un estado crítico, con presencia de baches, agrietamientos y falta de señalización. En época de lluvias, debido al deterioro de la vía no pavimentada, esta presenta empozamientos generando gran cantidad de lodo, por otra parte, en época seca se genera gran cantidad de polvo, por lo que los vehículos transitan con dificultad y a bajas velocidades.

**Figura 1.** Plano de Ubicación de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo.



**Coordenadas UTM:** Inicio: 19S 182897.2 8502446.4 3348  
Fin: 19S 182894.5 8502856.4 3397

*Fuente: Elaboración propia.*

La población directamente perjudicada corresponde a los 3793 habitantes de la APV “Los Proceres”, 1095 habitantes del APV “Raíces del cusco”, a las APVS colindantes a la prolongación José Carlos Mariátegui y en general a la población usuaria de esta vía de Alto Qosqo, generando gran incomodidad en la población que vive y circula por esta vía y en general a todo el sector, a su vez también afecta a los vehículos y transporte público que transitan por la vía, lo que genera tiempos de retraso en los viajes y ocasionaría accidentes a futuro.



**Figura 2.** Situación Actual de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo.



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 3.** Situación Actual de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo.



*Fuente: Elaboración propia.*

Lo que buscamos en la presente investigación es mejorar el suelo de subrasante a través de su estabilización aplicando el Estabilizador Z y Cemento Portland tipo IP, buscando mejorar el bajo CBR del suelo de subrasante de la Prolongación José Carlos Mariátegui, distrito de San Sebastián, Cusco.



Nosotros los Investigadores realizaremos ensayos del suelo natural y estabilizado con el Estabilizador Z y Cemento Portland tipo IP para identificar como influyen estos aditivos a sus propiedades físicas y mecánicas, buscando mejorar el suelo para la subrasante con un CBR bajo, de la Prolongación José Carlos Mariátegui ubicada en el distrito de San Sebastián.

## **1.1.2. Formulación del problema**

### **1.1.2.1. Formulación del problema general**

¿En qué medida influye el estabilizador Z y el Cemento portland tipo IP en las propiedades físico mecánicas del suelo de subrasante de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo - Distrito de San Sebastián - Cusco - 2022?

### **1.1.2.2. Formulación de los problemas específicos**

- ¿En qué medida influye el estabilizador Z y el Cemento portland tipo IP en los Límites de Atterberg del suelo de subrasante de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo - Distrito de San Sebastián - Cusco - 2022?
- ¿En qué medida influye el estabilizador Z y el Cemento Portland tipo IP la densidad máxima seca del suelo de subrasante de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo - Distrito de San Sebastián - Cusco - 2022?
- ¿En qué medida influye el estabilizador Z y el Cemento Portland tipo IP en la Capacidad de Soporte (CBR) del suelo de la subrasante de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo - Distrito de San Sebastián - Cusco - 2022?

## **1.2. Justificación e Importancia de la investigación**

### **1.2.1. Justificación Técnica**

Para lograr que las obras viales se construyan y desempeñen adecuadamente su función, es necesario desarrollar una serie de actividades, una de las cuales y más importantes es el proceso de estabilización de suelos.

La presente investigación busca la mejora del comportamiento del suelo a través de su estabilización utilizando el estabilizador Z y Cemento Portland tipo IP, se pretende mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante (plasticidad, densidad, CBR) de esta manera evitar los problemas actuales que se presentan en la vía como son los hundimientos, baches, gran cantidad de lodo y polvo de acuerdo al clima, etc., todo esto a nivel de subrasante en la conformación de futuras vías.



### **1.2.2. Justificación Social**

La presente investigación mediante el proceso de estabilización, contribuirá con la mejora de las propiedades físico mecánicas del suelo de subrasante en la Prolongación José Carlos Mariátegui, lo cual permitirá mejorar la calidad de la vía teniendo un impacto positivo en la vida de las personas del distrito de San Sebastián, al optimizar el tránsito y seguridad de los usuarios de las vías.

De igual manera la presente tesis contribuirá con el conocimiento de los estudiantes de ingeniería civil, geotecnia, ingenieros dedicados al tema e investigadores quienes podrán tomar esta investigación como alternativa para la estabilización de suelos.

### **1.2.3. Justificación por Viabilidad**

Se considera viable esta investigación, debido a la disponibilidad de los materiales y equipos requeridos para llevar a cabo los ensayos pertinentes, además de contar con la normativa necesaria.

Así mismo se cuenta con el estabilizador Z y con el Cemento Portland tipo IP al alcance en cualquier establecimiento autorizado.

Los ensayos pertinentes son realizados en el laboratorio de la Universidad Andina del Cusco, lo cual nos permitirá obtener los resultados de la investigación para su posterior análisis e interpretación.

### **1.2.4. Justificación por Relevancia**

La presente investigación estudia la influencia del estabilizador Z y el Cemento Portland tipo IP en el suelo de subrasante de la prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo – San Sebastián, buscando obtener mejores resultados en la estabilización de suelos, evitando así gastos innecesarios y elevados costos de reconstrucción a futuro.

La presente investigación resulta ser relevante debido a que se buscará estabilizar el suelo de subrasante de la Prolongación José Carlos Mariátegui y así mejorar las propiedades físicas y mecánicas de dicho suelo, lo cual le permitirá en futuros proyectos de pavimentación dar a la vía la estabilidad y durabilidad esperada, el tránsito fluido, sin ocasionar deterioros en la vía y los vehículos, todo ello para beneficio de las personas de Alto Qosqo - Distrito de San Sebastián.



### **1.3. Limitaciones de la Investigación**

#### **1.3.1. Limitaciones geográficas**

El tema de la presente investigación geográficamente está delimitado a la región del Cusco.

La investigación se limita al estudio del suelo de subrasante de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo – Distrito de San Sebastián.

#### **1.3.2. Limitaciones de diseño**

Se consideró la adición de los aditivos en el suelo de subrasante, en una proporción de 1%, 2% y 4% de Estabilizador Z y 4% de Cemento Portland tipo IP, teniendo como referencia las normas y manuales vigentes, así también antecedentes de otros estudios, a fin de que se obtenga resultados favorables en las propiedades físico mecánicas del suelo de subrasante de la Prolongación José Carlos Mariátegui.

#### **1.3.3. Limitaciones de ensayos en laboratorio**

- La investigación está limitada a la evaluación del suelo de subrasante extraído mediante 05 calicatas de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo, sin estabilizar y estabilizado con la propuesta de adición de Cemento (4%) y Estabilizador Z (1%,2%,4%).
- El estudio se limita a la evaluación y clasificación del suelo extraído de las 05 calicatas realizando los ensayos de Granulometría y Límites de Consistencia, para así determinar el suelo más crítico.
- El estudio se limita a la evaluación del suelo extraído de la calicata más crítica realizando los ensayos de Granulometría, Límites de Consistencia, Proctor Modificado, Capacidad de soporte (CBR).
- Esta investigación se limita a la evaluación de las propiedades físico mecánicas del suelo más crítico de subrasante evaluado mediante los ensayos mencionados del suelo natural, suelo con la adición del 4% de Cemento y la combinación con el Estabilizador z en los porcentajes de (1% Aditivo+ 4% cemento, 2% Aditivo + 4% cemento y 4% + 4% cemento).
- El presente estudio está limitado al uso de agua potable a temperatura ambiente para la realización de los ensayos.
- Las pruebas de laboratorio se llevaron a cabo en las condiciones climáticas de la ciudad de Cusco.



## 1.4. Objetivos de la investigación

### 1.4.1. Objetivo General

Evaluar la influencia del estabilizador Z y el Cemento portland tipo IP en las propiedades físico mecánicas del suelo de la subrasante de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo - Distrito de San Sebastián - Cusco - 2022.

### 1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la influencia del estabilizador Z y el cemento portland tipo IP en los Límites de Atterberg del suelo de la subrasante de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo - Distrito de San Sebastián - Cusco - 2022.
- Determinar la influencia del estabilizador Z y el cemento portland tipo IP en la en la densidad máxima seca del suelo de la subrasante de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo - Distrito de San Sebastián - Cusco - 2022.
- Determinar la influencia del estabilizador Z y el cemento portland tipo IP en la Capacidad de Soporte (CBR) del suelo de la subrasante de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo - Distrito de San Sebastián - Cusco - 2022.



## Capítulo II: Marco Teórico

### 2.1. Antecedentes de la Investigación Actual

#### 2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional

**2.1.1.1. Título:** APLICACIÓN DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMERO EN EL INCREMENTO DEL VALOR DEL CBR DEL MATERIAL UTILIZADO COMO AFIRMADO EN LA CARRETERA DEPARTAMENTAL AP-103, TRAMO PUENTE ULLPUHUAYCCO – KARKATERA (L= 14.050 KMS) ABANCAY-APURÍMAC 2018.

**Autor:** Condori Ñahuinlla, Visayda - Huamaní Gamarra, Zayda.

**Universidad:** Universidad Tecnológica de los Andes.

**Año:** 2018

#### **Resumen:**

La estabilización de suelos implica modificar alguna de sus propiedades con el fin de mejorar su desempeño técnico. Esta investigación se centra en la evaluación de un producto relativamente nuevo en el mercado, conocido como Estabilizador Z con polímeros. Este estabilizador, fabricado por Z Aditivos y distribuido por la misma empresa, se basa en una resina alemana de un solo componente. Su función es actuar como un potencial mejorador de la estabilidad del suelo tipo A, que se comercializa como un agente destinado a aumentar la resistencia del suelo, como se ha comprobado en el curso de esta investigación.

El objetivo principal de este estudio es determinar si la incorporación de estabilizadores Z con polímeros sintéticos aumenta los valores del CBR (Índice de Capacidad de Soporte) de los materiales utilizados en el tramo vial AP-103 - Puente Ullpuhuaycco-Karkatera, con una longitud de 14,050 km, en la ruta Abancay-Apurímac en el año 2018. Para llevar a cabo esta investigación, se obtuvieron inicialmente muestras de la cantera de Condebamba en la Quebrada de Colcaque, ubicada en el Distrito de Abancay. Estas muestras se sometieron a análisis de laboratorio de acuerdo con las normas ASTM y MTC (EM-2016), incluyendo la determinación del contenido de humedad, tamaño de grano, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, ensayo Proctor modificado, California bearing ratio (CBR), ensayo de penetración y expansión, utilizando una relación de 1:4 de aditivo. Como resultado de este estudio, se puede afirmar que cuando la muestra patrón es del 95%, el valor del CBR es del 12.55%, y con la adición de polímero, este valor aumenta al 13.09%. En el caso de muestras con una densidad patrón del 100%, el CBR es de 15.44%, y con la adición del polímero, este valor incrementa a 18.57%. La introducción del polímero sintético también demuestra un



aumento positivo en la curva de tensión de penetración. En el caso de una penetración de 0.1 pulgadas en el suelo patrón, la resistencia es de 9.88 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que con la adición del polímero, aumenta a 10.54 kg/cm<sup>2</sup>. Para una penetración de 0.2 pulgadas, la resistencia es de 12.82 kg/cm<sup>2</sup> en el suelo patrón, y con la adición del polímero, aumenta a 14.08 kg/cm<sup>2</sup>. Esto sugiere que el suelo con polímero adicional presenta menos porosidad, mayor cohesión y una mejor compactación.

### Conclusiones:

- El valor CBR del suelo natural al 95 % es del 12,55 % y se puede aumentar hasta el 13,09 % mediante el uso de estabilizador Z más polímero, y el valor CBR con polímero aumenta en un 4,30 % en comparación con el suelo natural, mientras que el valor CBR del suelo natural al 100 % es del 15,55 %, con el uso de estabilizador Z que contiene polímero aumentó al 18,57 %, y el uso de polímero aumentó el valor de CBR en un 20,27 %, lo que se refiere al valor del suelo natural.
- El valor de L. L. En suelo natural fue 0.49% menor que con estabilizador polimérico Z, lo que indica que es más líquido cuando se aplica el estabilizador. En lo que refiere al Límite plástico en suelo natural, es un 3,24 % inferior a la aplicación del estabilizador de polímero Z. Esto demuestra que cuando se aplica el polímero, el material se vuelve más plástico. El valor del índice de plasticidad en el suelo natural fue de 14,0, que pudo reducirse a 11,31 % después de la aplicación del estabilizador Z con polímero, lo que resultó en una disminución de la plasticidad del suelo.
- Los polímeros muestran un aumento positivo en la curva de esfuerzo-penetración, ya que el suelo normal requiere 9,88 kg/cm<sup>2</sup> para penetrar 0,1 pulgadas, mientras que el suelo con polímero agregado aumenta a 10,54 kg/cm<sup>2</sup>, lo que indica que el suelo tiene menos presencia de vacío y es más adherido y compactado.
- El polímero muestra un aumento positivo en la curva de esfuerzo-penetración ya que requiere 12,82 kg/cm<sup>2</sup> para una penetración de 0,2 pulgadas, mientras que con la adición del polímero aumenta a 14,08 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, lo que indica que el suelo añadido con polímero tiene menos vacíos y es más comprimido y compacto.
- El contenido óptimo de agua con polímero aumenta en un 0,35 % en comparación con el suelo natural y la densidad seca máxima se reduce en un 0,01 % en comparación con el suelo natural, mientras que el contenido óptimo de agua del suelo natural es de 6,75 %, con la adición de estabilizador Z en el suelo aumenta a 7.10%, la densidad relativa se reduce a 2.225 gr/cc en suelo natural y 2.205 gr/cc en polímero.



**Aporte:**

El presente antecedente lo aplicamos a nuestra investigación ya que se demuestra que el Estabilizador Z es un aditivo que presenta mejoras en las propiedades físico mecánicas del suelo, en el caso de este antecedente fue usado para estabilizar un suelo para material de afirmado, lo cual se aplica a la presente investigación para determinar cómo influye este aditivo en el suelo de subrasante de nuestra zona en estudio.

**2.1.1.2. Título:** MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE AGREGANDO ESTABILIZADOR Z DEL CENTRO POBLADO SEÑOR DE LOS MILAGROS, MIRAFLORES, AREQUIPA-2021.

**Autor:** Flores Velásquez, Tito Rene.

**Universidad:** Universidad César Vallejo.

**Año:** 2021

**Resumen:**

Este trabajo de investigación tiene como título “Mejoramiento de la Subrasante Agregando Estabilizador Z Del Centro Poblado Señor de los Milagros, Arequipa-2021” teniendo como objetivo, mejorar la subrasante aplicando estabilizador Z, tanto en las propiedades físicas como las propiedades mecánicas y la capacidad de soporte en distintas dosificaciones de 3%, 6%, 9% con estabilizador Z, donde la metodología que se utilizó para esta investigación fue de diseño experimental, con un enfoque cuantitativo de tipo aplicada, la muestra fue extraída de tres calicatas de la subrasante, cuyas muestras fueron evaluadas en ensayos de granulometría, ensayos de contenido de humedad, ensayo de límites de consistencia, ensayo de Proctor modificado, y ensayo de CBR, los resultados dan a conocer que es una arena arcillosa, con un CBR promedio bueno de 23.1% para suelo natural y aplicando aditivo estabilizador Z para las dosificaciones de 3%, y 9% el CBR subió de 23.1% de suelo natural hasta el 28.03%, 36.2%, 39.3% promedio de cada calicata, teniendo como conclusión que aplicando este estabilizador Z optimiza la cantidad de agua a medida que se eleva la dosificación, para mejorar las propiedades mecánicas y físicas se debe realizar una compactación con una dosificación del 9% con aditivo estabilizador Z.

**Conclusiones:**

- El estabilizador Z si influye en el mejoramiento con la adición de estabilizador Z en 3%, 6%, 9% tanto en la capacidad de soporte del suelo y las propiedades físicas y



mecánicas de la subrasante, obteniendo un aumento de CBR promedio de 39.3% al 9% de la aplicación del aditivo estabilizador z, dándonos una subrasante excelente según las categorías de subrasantes de acuerdo al valor del CBR del MTC.

- De acuerdo a los ensayos llevados a cabo en los límites de consistencia, se observa que no hay presencia de límite líquido, límite plástico ni índice de plasticidad, tanto en el suelo natural como en las muestras con la adición de aditivos en diversas proporciones. Esto sugiere que la incorporación de aditivos no genera mejoras en las propiedades físicas del suelo.
- El Estabilizador z influye en el mejoramiento de las propiedades mecánicas aumentando la densidad máxima seca al añadir un determinado proporciones de 3%,6% ,9% del Aditivo estabilizador Z con un valor de promedio de 1.779 gr/cm<sup>3</sup> y su óptimo contenido de humedad adicionando aditivo mejora en un 12.07%.
- Si influye en el mejoramiento de la capacidad de soporte ya que de acuerdo al valor de 39.3% de CBR de las Categorías de subrasantes nos indica que  $CBR \geq 30\%$  dan como resultado una subrasante excelente.

#### **Aporte:**

Se presenta esta investigación como antecedente, donde se prueba que el Estabilizador Z desarrolla mejorías en las propiedades mecánicas del suelo en estudio, aplicamos la misma metodología debido a que se adicionara (Estabilizador Z y Cemento Portland IP) buscando determinar el porcentaje óptimo de adición para estabilizar nuestro suelo de subrasante en la zona de estudio.

**2.1.1.3. Título:** ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON ADICIÓN DE CEMENTO Y ADITIVO TERRASIL PARA EL MEJORAMIENTO DE LA BASE DEL KM 11+000 AL KM 9+000 DE LA CARRETERA PUNO – TIQUILLACA – MAÑAZO.

**Autor:** Salas Mercado, Dante

**Universidad:** Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.

**Año:** 2017

#### **Resumen:**

La vía asfaltada Puno – Tiquillaca – Mañazo fue puesta en servicio en el año 2014; fue diseñado para su uso distrital tornándose una vía importante para la Región de Puno; en la actualidad es utilizado por vehículos pesados que ofrecen el transporte interdepartamental de Puno hacia Arequipa para la cual no fue diseñada; la situación actual de la vía con pocos años de servicio



se encuentra considerablemente deteriorada. Sobre todo, en el tramo Puno – Tiquillaca se ha utilizado los suelos de la cantera “Lumpoorcco” el mismo que se encuentra ubicado entre las progresivas km 9+000 al km 11+000. El objetivo principal del desarrollo del presente trabajo es establecer las características físicas y mecánicas de los suelos, cuyos resultados no han indicado que son de regular calidad; es así que los resultados por ejemplo en el índice plástico (Ip) han dado valores promedio de 10.2, densidad seca (Ds) de 1.65 gr/cm<sup>3</sup>, CBR al 100%

de 39.58%, lo que según lo sugerido por el MTC se considera suelos regulares, a tal preocupación se ha propuesto mejorar las características mecánicas con adición de Cemento y aditivo Terrasil. Los resultados con adición de cemento con el 2% han dado resultados esperados, como en el índice de plasticidad (Ip) de 6.19%, densidad seca en 2.09% y CBR al 100% en 64.87%, y con la adición de terrasil con 10 gr. Por kilo de suelo en el índice de plasticidad (Ip) de 6.72%, densidad seca (Ds) de 1.99 gr/cm<sup>3</sup> y CBR al 100% de 61.37%; interpretando los resultados digo que los suelos de la cantera “Lumpoorcco” son posibles estabilizarlos con adición de Cemento y el aditivo Terrasil alcanzando mejoras como lo sugiere el MTC.

#### **Conclusiones:**

- Los suelos de la cantera “Lumpoorcco” ubicada en la vía Puno –Tiquillaca – Mañazo entre los km 9+000 al km 11+000, predomina las arenas bien graduadas con grava su clasificación sucs (SW) y aashto (A-3), tiene un índice de plasticidad (Ip) promedio de 10.2, una densidad seca (Ds) promedio de 1.65 gr/cm<sup>3</sup>, con un CBR al 100% promedio de 39.58% lo cual nos indica que es un suelo de regular calidad mecánica, por lo que es necesario el mejoramiento de sus propiedades mecánicas, para lo que puede emplearse el cemento y el aditivo terrasil que permite alcanzar los resultados de las propiedades mecánicas apropiadas y de acuerdo a lo sugerido por el MTC.
- La selección de cemento como un medio de mejoramiento de las propiedades mecánicas de los suelos de la cantera “Lumpoorcco” se ha efectuado debido a que el cemento es un material aglomerante, reduce la sensibilidad del suelo al agua, proporciona una elevada capacidad de soporte, son de fácil mezclado y empleo; los ensayos efectuados con adiciones del 1% y 2% de cemento referido al peso del suelo mezclado, El suelo natural adicionado con el 2% ha dado mayores y mejores resultados; como es el caso del índice de plasticidad (Ip) ha alcanzado un valor promedio de 6.19% en la densidad



seca (Ds) de 2.09 gr/cm<sup>2</sup> en el CBR AL 100% DE 65.87%. Estos valores son mejores a los sugeridos por el MTC.

- El aditivo terrasil, es una alternativa eficaz para la estabilización de suelos, tienen una fórmula líquida enzimática natural, no tóxica y biodegradable, que cataliza la degradación de los materiales orgánicos en el suelo, es de alto rendimiento, bajo costo, 100% natural, compatible con el medio ambiente; se ha adicionado en 5 gr. y 10 gr. por cada kilo de suelo, El suelo natural más la adición de 10 gr. por kilo de suelo ha dado mejores resultados como es el caso del índice plástico (Ip) ha alcanzado el valor de 6.72%, en la densidad seca de 1.99 gr/cm<sup>3</sup> y en el CBR al 100% de 61.37%, valores mayores a los sugeridos por el MTC.
- Los cementos portland ASTM tipo IP y el aditivo terrasil, son buenos para ser empleados como agentes estabilizadores de suelo, en los que da buenos resultados. En lo que respecta al cemento con la adición del 2% ha dado valores óptimos a los recomendados por el MTC; y en el caso del aditivo terrasil con la adición de 10 gr. a cada kilogramo de suelo dio resultados también mayores a lo sugerido por el MTC.

#### **Aporte:**

Este antecedente demuestra que la inclusión de Cemento Portland tipo IP como agente estabilizador en un suelo resulta en un aumento de su capacidad de soporte (CBR) y una mejora significativa en sus propiedades físicas y mecánicas. Esto lleva a la obtención de valores óptimos que cumplen con las normas actuales. En la presente investigación, se aplicará una metodología similar para incorporar este material en el suelo de subrasante de nuestra área de estudio.

### **2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional**

**2.1.2.1. Título:** ESTUDIO DE LA TÉCNICA DE SUELO-CEMENTO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE VÍAS TERCIARIAS EN COLOMBIA QUE POSEAN UN ALTO CONTENIDO DE CAOLÍN.

**Autor:** García Toro, Jonatan Rodrigo

**Universidad:** Universidad Católica de Colombia

**Año:** 2019



### **Resumen:**

En Colombia y en la mayoría de los lugares del mundo, los pavimentos están contruidos con múltiples estratos de material granular diseñados para absorber y distribuir las cargas generadas por el tráfico vehicular. Estos estratos incluyen la subrasante, subbase, base y la capa de rodadura, siendo esta última la que recibe directamente la carga del tráfico. Una técnica de estabilización de suelos implica la adición de cemento al suelo natural, mezclado con agua y compactado adecuadamente para mejorar sus propiedades físicas, aumentando su resistencia, dureza e impermeabilidad.

El propósito de este proyecto de investigación es explorar la tecnología de mezcla de cemento y suelo, centrándose en el comportamiento mecánico de suelos arcillosos, en particular la arcilla tipo caolín, un mineral altamente estable derivado de la caolinita. En este estudio, se incorporan diferentes porcentajes de cemento, que varían desde un 0% hasta un 11% en masa. El objetivo principal es evaluar la resistencia de esta mezcla. Para lograrlo, se fabrican especímenes de prueba que se someten a ensayos de compresión y tensión indirecta bajo carga compresiva. Se consideran tiempos de curado de 7, 14 y 28 días para evaluar cómo varía la rigidez a lo largo de estos periodos. El propósito fundamental de esta investigación es determinar la viabilidad de incorporar cemento en suelos de baja resistencia, especialmente en suelos finos, con la posibilidad de reemplazar la capa de subbase en pavimentos cuando se logra una alta resistencia.

### **Conclusiones:**

- El caolín, al igual que la mayoría de los suelos finos, exhibe una fragilidad inherente en ausencia de agua, pero esta fragilidad se pudo corregir mediante la adición de un 11% de cemento, ya que dicho aditivo incrementa considerablemente la cohesión entre las partículas, lo que, a su vez, potencia la resistencia del material. Por otro lado, es importante destacar que el estado de saturación del material también plantea un desafío, ya que el suelo, sin ningún tipo de aditivo, se descompone y pierde sus propiedades de resistencia mecánica. Incluso el suelo estabilizado con un 8% de cemento disminuye su resistencia en un 50% en esta condición.
- Para los suelos finos estabilizados con cemento se debe garantizar que el agua debida a las condiciones climáticas no va afectar la resistencia del terreno, por ello se requiere tener buenos sistemas de drenaje o bien sea aumentar la impermeabilidad del material.



- Se obtiene la mayor resistencia a la compresión Inconfinada a los 28 días de curado con un contenido de 11% de cemento alcanzando una resistencia última de 2.42 Mpa lo cual según González Vallejo<sup>24</sup> corresponde con valores obtenidos para rocas blandas tipo Arcillolitas, Lutitas entre otras. Esto indica una relación directamente proporcional entre el porcentaje de cemento y el esfuerzo máximo soportado por el suelo.
- El cemento funciona muy bien como agente estabilizador de suelos, en este caso se comprobó que los porcentajes superiores al 8 % de cemento en la mezcla mejoran considerablemente la resistencia ante cargas monotónicas. Por otra parte, cabe resaltar que estos contenidos del aglomerante son bastante altos y que si se quiere estabilizar una vía de gran longitud con un alto contenido de caolín o suelo fino el costo puede llegar a ser elevado, sin embargo, a nivel académico y experimental el presente trabajo de grado pretendió evaluar contenidos de 10% y 11% con el propósito de obtener envoltentes que permitan diagnosticar una tendencia de comportamiento de largo alcance en dichos materiales.
- Cuando se emplea el método de estabilización de suelos con la adición de cemento es de suma importancia garantizar el contenido óptimo de agua y el tiempo de curado mínimo para lograr obtener la resistencia máxima requerida por el diseño, ya que como se observó en los resultados la resistencia máxima de las mezclas con 11% de cemento presentaba una disminución cuando eran menores los tiempos de curado.
- El agua tiene mayor incidencia en la resistencia a la tracción indirecta de los cuerpos de prueba que a compresión Inconfinada, ya que según los datos obtenidos la resistencia a la tracción disminuyó en un 75% mientras que la resistencia a la compresión solo lo hizo en un 50%.

#### **Aporte:**

Se presenta este antecedente ya que se prueba que el Cemento es un agente estabilizador de suelos muy bueno, ya que al mezclarse con el suelo este aumenta considerablemente su resistencia, este antecedente lo aplicamos a la presente investigación para determinar cómo influye este material en combinación y comparación con el estabilizador Z en el suelo de subrasante de nuestra zona de estudio.

#### **2.2.1.2. Título:** ESTABILIZACIÓN Y CONTROL DE SUELOS EXPANSIVOS UTILIZANDO POLÍMEROS

**Autor:** Ayala Avellán, Génesis Gabriela.



**Universidad:** Universidad Espíritu Santo Ecuador.

**Año:** 2017

**Resumen:**

El presente trabajo de titulación se realizó a partir de información existente en el Ecuador de suelos expansivos, con la finalidad de poder determinar parámetros óptimos de utilización de polímeros para su correcta estabilización.

Como lo mencionan varios Autores, entre ellos Márquez, 2006, los suelos expansivos están formados por muchos minerales de arcilla que tienen propiedades de gran absorción de agua y retención de la misma, produciendo un incremento de volumen en el mineral que disminuye drásticamente cuando se seca (retracción). Este fenómeno puede ser perjudicial para la construcción porque no es constante el incremento de volumen, originando distintos empujes relativos, por hundimiento y generan asentamientos importantes cuando se produce la retracción (p.3).

Como complemento con lo anterior dicen Patrone & Prefumo, s.f. que muchos fenómenos atribuidos a asentamientos del suelo u otros problemas en realidad eran debidos a procesos de hinchamiento por parte de los suelos expansivos (p.1).

Se realizó un procedimiento completo para la obtención de resultados comenzando por el muestreo de suelos y clasificación, para de esta manera tener definidas las características del mismo.

Adicionalmente, después de haber caracterizado al material expansivo se procedió a estabilizarlo químicamente con polímeros, realizando una vez más ensayos de clasificación y caracterización con suelo mezclado con estos elementos.

Finalmente, se llegó a obtener las conclusiones y recomendaciones en base a los resultados obtenidos para el correcto uso y dosificación del polímero con la finalidad de obtener resultados técnicos y económicos favorables.

**Conclusiones:**

- Debido a las condiciones del suelo y a las condiciones climáticas que se presentaron cuando se procedió con el muestreo se pudo obtener únicamente muestras alteradas, por lo que no se procedió la realización del ensayo de Lambe, puesto que este requiere muestras inalteradas para moldearlas para poder proceder. Por esta razón se realizaron los ensayos de expansión libre y expansión controlada.



- La influencia del polímero alteró de manera significativa en las condiciones físico – mecánicas del mismo. En los ensayos de límites de Atterberg se produjeron cambios tanto en el límite líquido, límite de plasticidad y por consiguiente en el índice de plasticidad.

El límite líquido decreció en todos los casos, a razón de 21.43, 36.69 y 30.69 % en las muestras M-1, M-2 y M-3, respectivamente.

Para el caso del límite plástico en las muestras M-2 y M-3 se obtuvieron decrecimientos de 35.68 y 27.14 respectivamente mientras que para la muestra M-1 se obtuvo un crecimiento de 27.13 %.

El índice de plasticidad sufrió variaciones del 50.72, 39.25 y 32.27 % para las muestras M-1, M-2 y M-3, respectivamente.

- La prueba Proctor modificada, que es un indicador de la resistencia al corte de los suelos, también sufrió alteraciones debido a la utilización del polímero. La compactación es conflictiva y complicada cuando se trata de suelos con alta plasticidad, como son los suelos parte del presente trabajo, siendo prácticamente suelos que no se prestan para compactarse.

Durante los ensayos de laboratorio al suelo sin estabilizar, se produjeron diferentes problemas para poder obtener los puntos para graficar las curvas de compactación. Sin embargo, al aplicar los productos químicos el suelo de entrada se volvió más manejable, y al haberse reducido sus problemas de consistencia se pudo realizar con mayor facilidad los ensayos.

La densidad seca máxima tuvo tasas de crecimiento en las muestras M-1, M-2 y M-3 de 4.02, 6.56 y 3.93 respectivamente, con el consecuente incremento de la resistencia al corte en la misma proporción.

Sin embargo, un parámetro que llamó mucho la atención fue el de humedad óptima, puesto que a groso modo se pensaba que iba a disminuir en el material estabilizado, pero las tasas de variación fueron de 0.0 para la muestra M-1, decreciente de 40.54 % para la muestra M-2 y creciente de 25.0 % para la muestra M-3.

Dados los valores indicados, se concluye una vez más y se coincide con la mayoría de autores en temas geotécnicos que los suelos expansivos, aunque hayan sido estabilizados, tienen un comportamiento impredecible.

- Los ensayos de expansión libre resultan ser un gran indicador en cuanto a la capacidad de aumentar el volumen de los suelos y a su vez la capacidad que tienen los polímeros para evitar que esto suceda, la tabla adjunta nos demuestra que el primero es una gran



alternativa para poder evitar los cambios volumétricos que tienen esta clase de suelos de manera eficaz.

Se puede apreciar que con el valor de 1.50 % de polímero se puede controlar el cambio volumétrico de los suelos expansivos hasta en un 91.5 %, lo cual prácticamente anula la expansividad de los mismos.

- El ensayo de expansión controlada nos ofrece una valoración cuantitativa más profunda de la presión ejercida por el suelo cuando sufre contacto con el agua, es así que con los ensayos realizados se tiene que el polímero anula la presión que ejerce el suelo expansivo hasta en un 94.1 %.

**Aporte:**

Se hace presente este antecedente porque muestra que, dependiendo del tipo de suelo y sus propiedades, la estabilización de suelos con materiales polímeros puede proporcionar resultados beneficiosos en las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Se utiliza esta investigación en el presente estudio para determinar cómo el uso específico de estabilizador Z con polímeros y Cemento Portland mejora las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante.

**2.2.1.3. Título:** MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTES CON CEMENTO HIDRÁULICO EN VÍAS NO PAVIMENTADAS.

**Autor:** Golfín Ballesterro, Kenneth Alejandro

**Universidad:** Universidad Tecnológica de Costa Rica.

**Año:** 2019

**Resumen:**

En este proyecto actual, se plantea la mejora de suelos plásticos mediante la aplicación de cemento hidráulico en subrasantes de caminos sin pavimentar o con superficie de lastre. Este proceso utiliza cemento hidráulico de Tipo MM / C (CP) 21. Las áreas seleccionadas para implementar este enfoque son aquellas con suelos propensos a ser plásticos, principalmente suelos con una composición de limo y arcilla. Las zonas de estudio en este proyecto incluyen Los Santos, Nicoya y Pocosol. Se aplicó cemento hidráulico en cuatro diferentes proporciones: 1%, 3%, 5% y 7% de cemento hidráulico en relación al peso del suelo en las tres zonas mencionadas. Se llevaron a cabo ensayos de Proctor Modificado para determinar la relación A/C óptima en cada proporción. Además, se realizaron ensayos de compresión inconfiada, los cuales revelaron un aumento en la resistencia a medida que se incrementa la cantidad de



cemento hidráulico. Este aumento en la resistencia es de al menos un 700% entre las proporciones sin cemento (0%) y al 7%.

Para evaluar la durabilidad del suelo, se llevaron a cabo ensayos de CBR (California Bearing Ratio) y ensayos de desgaste, ambos utilizando una proporción del 7% de cemento hidráulico. Los resultados indicaron una reducción en la plasticidad de los materiales gracias a la aplicación de cemento hidráulico, lo que a su vez aumentó el valor del CBR.

### **Conclusiones:**

- Se logra clasificar el tipo de suelo para cada zona correspondiente. La zona de Los Santos como A-5 (1), Nicoya como A7-5 (12) y Pocosol como A-7-6 (34). En donde se determinan materiales limos arcillosos con tamaños máximos nominales de 4,76 mm.
- El incremento en resistencia es apreciable conforme se aumenta el cemento hidráulico en todas las zonas. Las resistencias sin cemento hidráulico, de las zonas de Los Santos, Nicoya y Pocosol, son de 0,37 kg/cm<sup>2</sup>, 0,05 kg/cm<sup>2</sup> y 0,17 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, las resistencias a 7% de cemento hidráulico, son de 2,73 kg/cm<sup>2</sup>, 2.10 kg/cm<sup>2</sup> y 3,97 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.
- Se logra obtener requisitos de resistencia a la compresión en el apartado de estabilización del CR-2010, sin superar dosificaciones de cemento hidráulico mayores al 15%.
- La plasticidad de los materiales de subrasante se disminuye gracias al cemento hidráulico, y con ello repercute en el incremento del CBR.
- El incremento del CBR en la zona de Pocosol, cumple con parámetros del CR2010 en el apartado de “Capa granulares de rodadura”, teniendo un CBR de 20,8.
- En la zona de Nicoya y Pocosol, el desgaste de los materiales granulares con la mejora de suelo-cemento cumplen con lo indicado en CR-2010, sin superar el 50% de desgaste y con ello es aplicable para una capa de rodadura.

### **Aporte:**

Debido a los buenos resultados obtenidos con el uso de cemento para la estabilización de suelos, se propone este estudio como antecedente. Ya que se ha utilizado el Cemento para estabilizar suelos obteniendo resultados favorables. Este es el caso de nuestra investigación, donde agregaremos y compararemos el estabilizador Z con polímeros y en combinación con Cemento Portland tipo IP evaluaremos y observaremos cómo dichos aditivos afectan las propiedades físico-mecánicas del suelo de la subrasante en nuestra área de estudio.



## **2.2. Aspectos teóricos pertinentes**

### **2.2.1. El suelo**

El suelo es una capa delgada de material sobre la corteza terrestre que resulta de la descomposición y cambios físicos o químicos de rocas y escombros que resultan de la actividad de los seres vivos que lo habitan. (Crespo, 2004)

#### **2.2.1.1.Explanaciones u obras de tierra.**

Los movimientos de tierra o movimiento de tierras son el producto de modificar el terreno natural agregando o quitando material para lograr la correcta geometría de la superficie y la capacidad portante para soportar el pavimento y el resto de la superestructura. (Kraemer. 2004). Un correcto movimiento de tierras debe anticipar los posibles problemas geotécnicos para que puedan ser prevenidos o al menos tratados con suficiente prevención en términos de tiempo y recursos. Según Kraemer et al. (2004), consideran que una ejecución correcta de las explanaciones debe prever los posibles problemas geotécnicos, de forma que se evite su aparición o, al menos, que tengan un tratamiento preventivo adecuado en tiempo y recursos.

"Una explanación se refiere al resultado del proceso de movimiento de tierras, que involucra tanto la excavación como la colocación de material de relleno, con el propósito de crear la superficie base de una carretera hasta alcanzar el nivel de la subrasante del camino." (MTC 2014)

#### **2.2.1.2.Subrasante o explanada.**

La superficie de suelo o explanada es la superficie preparada donde se asentará la estructura superior del pavimento, desempeñando un papel esencial como base inmediata del pavimento. Por lo tanto, es crucial que esta superficie cuente con la resistencia adecuada y una geometría uniforme. (Kraemer. 2004).

También es la capa superior del terraplén o el fondo de la excavación del relieve natural, que debe soportar la estructura del pavimento. Consiste en suelos seleccionados para tener propiedades aceptables y compactados capa por capa para formar una masa estable en condiciones óptimas para no ser afectado por las cargas de diseño del tráfico. (MTC 2014)

#### **2.2.1.3.Aspectos importantes de una subrasante.**

La planificación de la superficie de la carretera se inicia al adaptar la carga que soportará cada rueda conforme a la capacidad de carga de la capa subyacente. A pesar de que la experiencia previa puede proporcionar orientación, la eficiencia y la viabilidad económica exigen un



análisis de las propiedades físicas fundamentales de la subrasante y la formulación de un diseño de pavimento basado en esta evaluación. (Sowers, GB y Sowers, GF 1972)

La calidad de la superficie de la carretera se encuentra en gran medida vinculada al espesor de dicha superficie, ya sea que se trate de una estructura flexible o rígida. La capacidad de carga, medida mediante el Índice de Capacidad de Soporte (CBR), o la resistencia a la deformación causada por las fuerzas cortantes del tráfico, sirven como parámetros evaluativos para esta capa. (Montejo, 2002)

Una subbase fuerte podrá soportar un nivel de carga relativamente alto, lo que permitirá que se usen capas más delgadas de pavimento sin comprometer la estabilidad general, lo que reducirá significativamente los costos. (Rico y del Castillo, 2005)

De acuerdo con Kraemer et al. (2004), con la formación de una subrasante se debe conseguir una superficie:

- Bajas irregularidades, su espesor debe ser esencialmente uniforme.
- Baja sensibilidad a los cambios de humedad.
- Taludes para drenar la lluvia que se presente durante la construcción.
- Suficientemente fuerte para soportar el tránsito de la construcción sin erosión ni deformación.

#### **2.2.1.4.El índice CBR en la evaluación de la calidad de una subrasante.**

La relación de carga relativa, conocida como Índice de Capacidad de Soporte de California (CBR), se define como un indicador semiempírico de la resistencia del suelo a las deformaciones. Este indicador se emplea para establecer relaciones con el comportamiento del pavimento y determinar parámetros cruciales que influyen en su espesor. Se ha señalado que este enfoque ha sido objeto de críticas por su enfoque conservador, ya que requiere la saturación previa del suelo. Aunque se reconoce que esta condición es bastante rigurosa, se justifica por la incertidumbre que puede existir respecto a las condiciones reales de humedad del suelo. (Sowers, GB y Sowers, GF, 19772)

"Una vez que se ha establecido el valor del índice de capacidad de soporte (CBR) diseñado para cada área con propiedades uniformes, se procederá a clasificar la categoría de subrasante a la que pertenece el mencionado sector o subtramo". (MTC, 2014)



**Tabla 1.** Índice de CBR.

| <b>Categorías de subrasante</b> | <b>Índice CBR</b>      |
|---------------------------------|------------------------|
| Subrasante inadecuada           | $CBR < 3\%$            |
| Subrasante insuficiente         | $3\% \leq CBR <$       |
| Subrasante regular              | $\leq CBR < 10\%$      |
| Subrasante buena                | $10\% \leq CBR < 20\%$ |
| Subrasante muy buena            | $20\% \leq CBR < 30\%$ |
| Subrasante excelente            | $30\% \leq CBR$        |

*Fuente: Tomado del MTC 2014:35.*

Para que se le asigne la categoría de subrasante que se muestra en la tabla anterior, los suelos debajo de la subrasante deben tener un espesor mínimo de 0,60 m de material correspondiente a la categoría mostrada, de lo contrario se asignará a la categoría inmediata de calidad inferior.

Para la capa superior de la subrasante, el MTC (2014) también recomienda que si es un suelo excelente - muy bueno ( $CBR \geq 20\%$ ), debe estar al menos 0,60 m sobre el nivel freático, 0,80 m si es bueno – regular ( $CBR < 20\%$ ); 1,00 m con una subrasante pobre ( $3\% \leq CBR$ ); hasta 1,20 m con una subrasante insuficiente ( $CBR < 3\%$ ). Si es necesario, se colocarán subdrenes o capas anticontaminantes o drenantes o se elevará la rasante hasta el nivel necesario.

#### **2.2.1.5. Estabilización de suelos.**

La estabilización o mejora de suelos es un grupo de técnicas destinadas a mejorar las propiedades mecánicas y la resistencia de los materiales y se utiliza en una variedad de actividades de ingeniería. Entre los usos más destacados encontramos: la construcción de plataformas de cimentación, la mejora de terrenos naturales, firmes de carreteras, subrasantes, cimentaciones y pavimentos. (Badillo Eulalio, 1998).

##### **A. Tipos de Estabilización.**

- **Estabilización Mecánica.**

Se utiliza para mejorar el suelo haciendo cambios físicos en el mismo. Existen varios métodos, tales como: Mezcla de suelo: este tipo de estabilización es muy utilizado, pero no da el efecto deseado por sí solo y siempre requiere al menos una compactación como complemento.



Ejemplo: Los suelos de grano grueso como la grava tienen un rozamiento interno elevado, lo que los hace soportar mucho esfuerzo, pero esta cualidad no los hace lo suficientemente estables en los caminos, porque no se pegan entre sí y sus partículas se mueven libremente y pueden separarse e incluso salirse de la calzada al pasar un vehículo.

Por otro lado, la arcilla presenta una fuerte cohesión y una baja resistencia al deslizamiento, lo que resulta en una pérdida de estabilidad en condiciones de alta humedad. Al combinar de manera apropiada ambos tipos de suelo, es posible generar un material con estabilidad, donde la alta fricción interna de uno se suma a las fuerzas cohesivas del otro para mantener las partículas unidas. (Badillo Eulalio,.1998)

- **Estabilización Química.**

Se refiere principalmente al uso de ciertos productos químicos patentados, cuyo uso implica el reemplazo de iones metálicos y cambios en la estructura del suelo en cuestión. (Badillo Eulalio,.1998)

- **Estabilización in situ con cal.**

Históricamente, la cal apagada ha sido el estabilizador más utilizado, pero solo recientemente se han realizado investigaciones científicas sobre su uso como estabilizador de suelos y se han cuantificado sus sorprendentes efectos.

Si tenemos arcillas muy maleables, podemos reducir la plasticidad simplemente añadiendo una pequeña cantidad de cal, reduciendo así los cambios de volumen asociados a los cambios en el contenido de humedad, es una forma económica de reducir la plasticidad del suelo y aumentar su resistencia.

El porcentaje adicionado va del 2% al 6% relativo al suelo seco del material a estabilizar. El uso de estos porcentajes estabiliza la actividad de la arcilla, reduce el índice de plasticidad y aumenta la resistencia. No se recomienda usar más porque aumenta la resistencia, pero también aumentamos la plasticidad.

Los estudios a realizar en suelos estabilizados con cal son: límite de Atterberg, tamaño de grano, índice de cemento, arena equivalente, VRS, compactación. Como indicábamos anteriormente, la cantidad dependerá del tipo de arcilla, de la masa seca se añadirá de un 1% a un 6% de cal. Este porcentaje debe determinarse en un laboratorio, pero el porcentaje más solicitado se acerca al 3% en la mayoría de los casos. (Badillo Eulalio,.1998).



## 2.2.2. Pavimentos

### 2.2.2.1. Definición

El pavimento consiste en un sistema de capas que incluye la base, subbase y la capa de rodadura, que se coloca sobre la subrasante de una carretera. Este sistema se diseña para conferir a la carretera las propiedades necesarias para resistir y distribuir las tensiones generadas por los vehículos. Es esencial que la capa de rodadura sea de alta calidad, con una superficie que ofrezca la fricción adecuada y una geometría que mejore las condiciones de seguridad y comodidad para el tráfico. (MTC 14. P.24.)

- A. Carpeta de Rodadura:** Es la parte superior de un pavimento, pudiendo ser este flexible, rígido o de adoquines y cumple la función de sostener directamente el tránsito. (MTC 14. P.24.)
- B. Base:** La capa situada bajo la superficie de rodadura cumple principalmente con la tarea de soportar, distribuir y transmitir las cargas generadas por el tráfico. Esta capa se compone de un material granular con propiedades de drenaje y debe tener un índice de soporte CBR igual o superior al 80%; en caso contrario, se requiere un tratamiento adecuado. (MTC 14. P.24.)
- C. Subbase:** Una capa con material específico, con un espesor predeterminado, se encarga de proporcionar soporte tanto a la base como a la capa de rodadura. Además de desempeñar estas funciones estructurales, cumple el papel de capa de drenaje y controla la capilaridad del agua. Dependiendo del diseño, esta capa puede ser omitida y, en caso contrario, debe contar con un Índice de Capacidad de Soporte (CBR) igual o superior al 40%; de lo contrario, se requiere tratamiento. (MTC 14. P.25.)

### 2.2.2.2. Tipos de pavimentos.

- A. Pavimentos Flexibles:** Estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos (aglomerantes, agregados). Se considera principalmente como capa de rodadura: mortero asfáltico, mezclas en frío y caliente. (MTC 14. P.25.)



**Figura 4.** Estructura de un pavimento flexible.



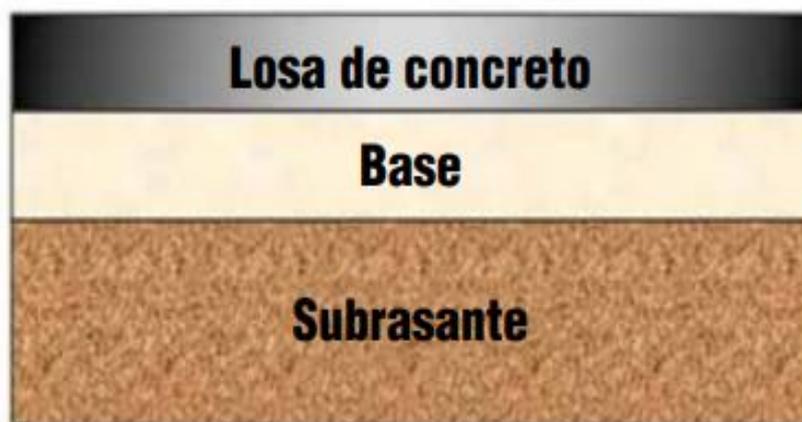
*Fuente: Pautas Metodológicas para el Desarrollo de Alternativas de Pavimentos.*

**B. Pavimentos Semirrígidos:** “Estructura constituida principalmente por estratos de asfalto con un grosor total de material bituminoso (capa de asfalto caliente sobre una base tratada con asfalto). También se clasifica como pavimento semirrígido la disposición que comprende una capa de asfalto sobre una base tratada.”. (MTC 14. P.25.)

**C. Pavimentos Rígidos:** La estructura del pavimento consiste en una capa que puede ser una subbase de material granular natural o tratado, combinada con una capa de rodadura de losa de concreto hidráulico. Estas estructuras se dividen en tres clasificaciones o categorías:

- Pavimento de concreto sin refuerzo con juntas.
- Pavimento de concreto con juntas y esfuerzo de acero (fibras o mallas).
- Pavimento de concreto con refuerzo continuo.

**Figura 5.** Estructura de un pavimento flexible.



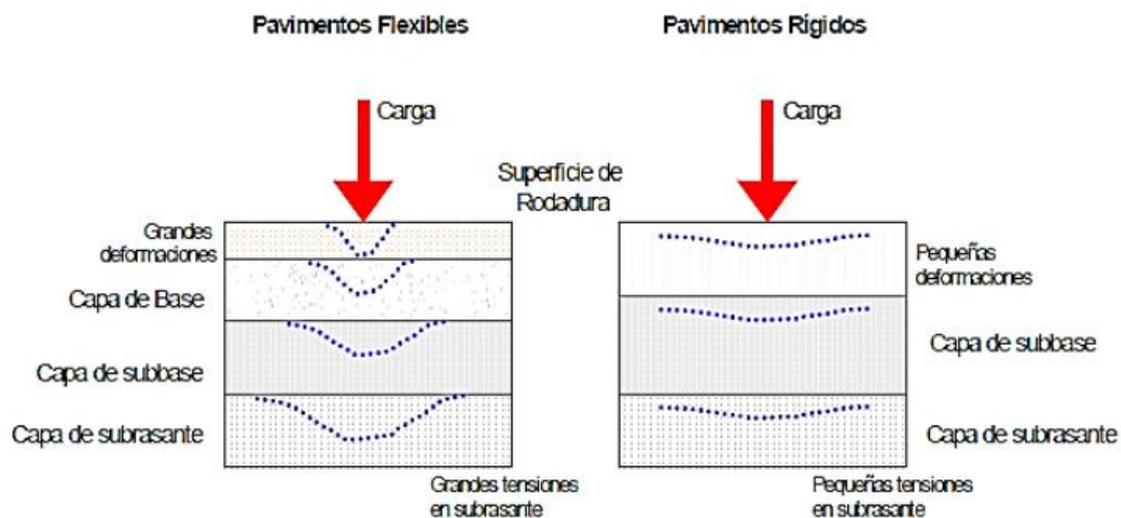
*Fuente: Pautas Metodológicas para el Desarrollo de Alternativas de Pavimentos.*

Las fallas del pavimento puede ser resultado de los siguientes factores: (FYJJ Laboratorio de Mecánica de Suelos, 2015)

- Un diseño deficiente del pavimento, el cual debe cumplir con los requisitos tanto estructurales como funcionales.
- Errores en la ejecución durante la construcción.
- La ausencia de un mantenimiento adecuado o la realización de un mantenimiento inadecuado.
- El tráfico vehicular, ya que en cada punto de la carretera existen ciclos de carga y descarga.
- La utilización de materiales que no cumplan con las especificaciones técnicas requeridas para la construcción de carreteras.

Condiciones ambientales; la temperatura ambiente influye en la cantidad de humedad necesaria para compactar el suelo, al igual que el nivel freático, que puede afectar la temperatura de equilibrio. Además, el patrón de lluvias, principalmente en la temporada de verano en nuestra región, puede incrementar el nivel de agua subterránea y dar lugar a la infiltración, lo cual podría afectar el rendimiento de la superficie del pavimento.

**Figura 6.** Estructura de un pavimento flexible.



*Fuente: Manual Centroamericano para el diseño de Pavimentos.*

La gestión del agua es uno de los elementos clave en la planificación, ya que el agua es muy dañina para la estructura, reduciendo la resistencia de la capa granular. (base, sub base ya hasta el suelo de sub rasante). (AASHTO, 1998)



### 2.2.3. Propiedades Físicas del Suelo.

#### 2.2.3.1. Granulometría del Suelo.

Los límites de tamaño de las partículas que componen el suelo proporcionan criterios obvios para la clasificación descriptiva del suelo. Ahora, gracias a la aplicación de métodos de análisis de suspensión, se pueden ampliar considerablemente las curvas de tamaño fino. (BADILLO, Mecánica de Suelos. p.98)

#### A. Clasificación Internacional.

**Tabla 2.** Clasificación Internacional de la granulometría del suelo

| INTERNACIONAL |       |              |            |       |         |          |  |
|---------------|-------|--------------|------------|-------|---------|----------|--|
| piedra        | grava | arena gruesa | Arena fina | limo  | arcilla |          |  |
|               | 20    | 2            | 0,2        | 0,02  | 0,002   | mm       |  |
| USDA          |       |              |            |       |         |          |  |
|               |       | arenas       |            |       |         |          |  |
| piedra        | grava | muy gruesa   | gruesa     | media | fina    | muy fina |  |
| 20            |       | 2            | 1          | 0,5   | 0,25    | 0,1      |  |
|               |       |              |            |       | 0,05    |          |  |
|               |       |              |            |       | limo    | arcilla  |  |
|               |       |              |            |       | 0,002   | mm       |  |

*Fuente: BADILLO, Mecánica de Suelos, p.99.*

#### B. Clasificación a partir de 1936, Alemania.

Propuesta por Kopecky:

**Tabla 3.** Clasificación granulométrica 1936, Alemania.

| MATERIAL      | CARACTERÍSTICA | TAMAÑO mm        |
|---------------|----------------|------------------|
| Piedra        | ---            | Mayor de 70 mm   |
| Grava         | Gruesa         | 30 a 70          |
|               | Media          | 5 a 30           |
|               | Fina           | 2 a 5            |
| Arena         | Gruesa         | 1 a 2            |
|               | Media          | 0.2 a 1          |
|               | Fina           | 0.1 a 0.2        |
| Polvo         | Grueso         | 0.05 a 0.1       |
|               | Fino           | 0.02 a 0.05      |
| Limo          | Grueso         | 0.006 a 0.02     |
|               | Fino           | 0.002 a 0.006    |
| Arcilla       | Gruesa         | 0.0006 a 0.002   |
|               | Fina           | 0.0002 a 0.0006  |
| Ultra-Arcilla | ---            | 0.00002 a 0.0002 |

*Fuente: BADILLO, Mecánica de Suelos, p.99.*





La forma de la curva da inmediata idea de la distribución granulométrica del suelo.

**a) Coeficiente de uniformidad**

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

D<sub>60</sub>: Tamaño tal, que el 60%, en peso, del suelo, sea igual o menor.

D<sub>10</sub>: Llamado por Hazen diámetro efectivo; es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10%, en peso, del suelo.

De hecho, esta relación representa un coeficiente de no uniformidad, ya que el valor numérico disminuye a medida que la uniformidad aumenta. Los suelos con un Cu (coeficiente de no uniformidad) de menos de 3 se consideran altamente uniformes; incluso las arenas naturales extremadamente uniformes rara vez presentan un Cu de menos de 2.

Como información adicional esencial para describir la distribución granulométrica, se utiliza el coeficiente de curvatura del suelo, definido con la siguiente fórmula:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

La definición de D<sub>30</sub> sigue un proceso similar al de D<sub>10</sub> y D<sub>60</sub> mencionados anteriormente. En suelos bien graduados, que abarcan una amplia gama de tamaños de partículas y contienen cantidades sustanciales de cada tamaño intermedio, esta relación tiene un valor que se encuentra en el rango de 1 a 3.

**2.2.3.2.Límites de Consistencia del Suelo.**

El comportamiento del suelo varía según el contenido de humedad presente. En condiciones de baja humedad, el suelo se comporta de manera más parecida a un sólido quebradizo, mientras que, con un alto contenido de humedad, tanto el suelo como el agua pueden fluir como si fueran líquidos. En consecuencia, el comportamiento del suelo se puede clasificar en cuatro estados fundamentales: sólido, semisólido, plástico y líquido. (Bowles, mecánica de suelos. p.64)

Figura 8. Límites de Atterberg.



Fuente: Bowles, *Mecánica de Suelos*, p.64.

- A. Contenido de humedad ( $w$ ): Razón entre peso del agua y peso del suelo seco de una muestra. (Norma Técnica Peruana. NTP 339.)
- B. Límite Líquido ( $w_L$  ó  $LL$ ): contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semi-líquido y plástico.
- C. Límite Plástico ( $w_p$  ó  $LP$ ): es el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semi-sólido y plástico.
- D. Índice de Plasticidad ( $IP$ ): es la diferencia entre los límites líquido y plástico, es decir, el rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene plástico:
- E.  $IP = LL - LP$ .

### 2.2.3.3. Clasificación de Suelos.

Los suelos con propiedades similares se pueden dividir en grupos y subgrupos según sus propiedades mecánicas y de ingeniería. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común que expresa de forma breve y precisa las características generales de los suelos, que son necesariamente diversas y no necesitan ser descritas en detalle. (Bowles, *mecánica de suelos*, p.82).

#### A. Método S.U.C.S.

A macro escala y durante el transcurso del tiempo se han clasificado los suelos en finos y gruesos, pero se hace necesario clasificarlos de manera más precisa para que transitan una mejor descripción de su comportamiento desde el punto de vista ingenieril.

Al realizar una clasificación más precisa del suelo enmarcados en un sistema de referencia conocido. (Crespo Villalaz, 2004).



El sistema S.U.C.S. clasifica a los suelos en dos grandes categorías:

- Suelos de grano grueso, los cuales están compuestos mayormente por materiales naturales que contienen grava y arena, y en los cuales menos del 50% del material pasa a través del tamiz número 200. Para identificar estos grupos, se utilizan símbolos que comienzan con los prefijos G o S, siendo G para referirse a suelos con contenido de grava y S para los suelos arenosos.
- Suelos de grano fino, Estos suelos se distinguen por tener más del 50% del material que pasa a través del tamiz número 200. La identificación de estos grupos utiliza símbolos con los prefijos M (para limo inorgánico), C (para arcilla inorgánica) y O (para limos orgánicos y arcillas). En el caso de suelos altamente orgánicos, como la turba, lodo y otros, se emplea el símbolo Pt.

Además, se emplean otros símbolos para la clasificación, que incluyen:

- W: Bien clasificado.
- P: Mal clasificado.
- L: Baja plasticidad (cuando el límite líquido es inferior a 50).
- H: Alta plasticidad (cuando el límite líquido es superior a 50).

Para llevar a cabo una clasificación adecuada de acuerdo con este sistema, es necesario contar con información sobre:

- El porcentaje de grava, es decir, la fracción que pasa a través del tamiz de 76.2 mm y se retiene en el tamiz número 4 (con una apertura de 4.75 mm).
- El porcentaje de arena, que corresponde a la fracción que pasa a través del tamiz número 4 (con una apertura de 4.75 mm) y se retiene en el tamiz número 200 (con una apertura de 0.075 mm).
- El porcentaje de limo y arcilla, que representa la fracción más fina que pasa a través del tamiz número 200 (con una apertura de 0.075 mm).
- Los coeficientes de uniformidad (Cu) y de gradación (Cc).
- El límite líquido y el índice de plasticidad de la parte del suelo que pasa por el tamiz número 40.



## 2.2.4. Propiedades Mecánicas del Suelo.

### 2.2.4.1. Capacidad de Soporte.

Junto con el ensayo CBR, conocido como el ensayo de relación de soporte, evalúa la resistencia al corte del suelo bajo condiciones controladas de humedad y densidad. Este ensayo proporciona una medida de la capacidad de soporte específica del suelo en las condiciones particulares que prevalecen durante la prueba, lo que implica que la relación de soporte no es constante para el suelo en todas las situaciones, sino que se aplica a la condición específica del suelo observada durante la prueba. El número CBR representa la carga necesaria para penetrar a una profundidad determinada en una muestra de suelo compactado con un contenido de humedad y densidad específicos, en comparación con la carga estándar requerida para alcanzar la misma profundidad en una muestra patrón bajo condiciones de carga estándar en material triturado. (Bowless, mecánica de suelos, p. 190)

En forma de ecuación:

$$\text{CBR} = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} \times 100(\%)$$

De esta relación se puede apreciar que el valor CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón. Los valores de la unidad de carga utilizados en la fórmula son los siguientes:

**Tabla 4.** Capacidad de soporte CBR.

| PENETRACIÓN |         | CARGA UNITARIA PATRÓN |                      |      |
|-------------|---------|-----------------------|----------------------|------|
| mm          | Pulgada | Mpa                   | Kg. /cm <sup>2</sup> | psi  |
| 2,54        | 0,1     | 6,90                  | 70,00                | 1000 |
| 5,08        | 0,2     | 10,80                 | 109,00               | 1500 |
| 7,62        | 0,3     | 13,10                 | 133,00               | 1900 |
| 10,16       | 0,4     | 15,80                 | 162,00               | 2300 |
| 12,7        | 0,5     | 17,90                 | 183,00               | 2600 |

*Fuente: Bowles, Mecánica de Suelos, p.190.*

Normalmente, el índice CBR se calcula considerando la relación de carga para una penetración de 2.5 mm. No obstante, si el índice CBR es más alto para una penetración de 5.0 mm, es necesario realizar el ensayo nuevamente. Si el resultado del segundo ensayo muestra una penetración mayor de 5.0 mm, ese valor se debe considerar como el resultado definitivo del ensayo.



## **2.2.5. Ensayos de Laboratorio para suelos.**

### **2.2.5.1. Ensayo de Límites de Atterberg.**

El límite de Atterberg es una prueba de laboratorio estandarizada que proporciona el límite del rango de humedad en el que el suelo permanece en estado plástico. Con ellos es posible clasificar el suelo en la clasificación armonizada de suelos (Unified Soil Classification System, USCS).

Para llegar a estos límites es necesario transformar (manipular) la muestra de suelo y destruir su estructura original, por lo que la descripción del suelo en condiciones naturales es absolutamente necesaria y complementaria.

Para hacer cumplir el límite de Atterberg, utilizamos todo el material menor que la malla #40 (0,42 mm). Esto significa que no solo es importante la fracción fina del suelo (< malla #200), sino también la fracción fina de la arena. (Norma Técnica Peruana. NTP 339.)

### **2.2.5.2. Determinación del Límite Líquido.**

#### **A. Objeto**

Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, en el que el suelo se encuentra al límite entre su estado líquido y plástico. Se especifica arbitrariamente como el contenido de humedad en el que las ranuras de separación en ambos lados de la pasta de arcilla están cerca de una distancia de 13 mm (1/2 pulgada) a lo largo de su base cuando la copa se deja caer 25 veces desde una altura de 1 cm a medida dos veces por segundo.

#### **B. Equipos, Materiales e Insumos.**

- Recipiente para almacenaje de 115 mm de diámetro aproximadamente.
- Máquina de Casagrande.
- Acanalador.
- Calibrador.
- Recipientes o Pesa Filtros.
- Balanza con sensibilidad de 0.01g.
- Estufa que pueda controlar temperaturas de 110 +/- 5°C.
- Espátula.
- Agua.

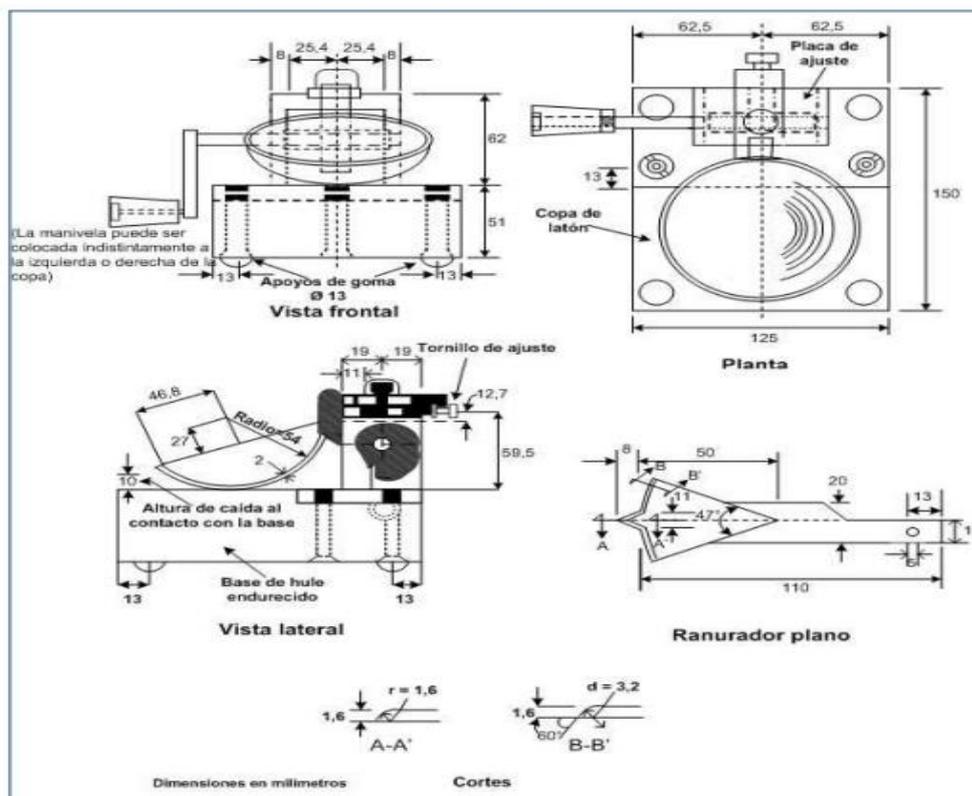
### C. Muestra.

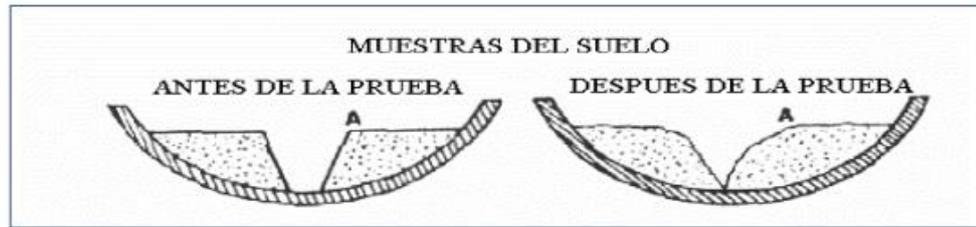
Obtenga una porción que sea representativa de la muestra completa y que permita que pase entre 150 g y 200 g de material a través del tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (N°40). En el caso de muestras que se vierten libremente, se pueden reducir utilizando el método de cuarteo o división de muestras. Para muestras cohesivas contenidas en un recipiente, se debe realizar una mezcla adecuada con una espátula o cuchara y, posteriormente, extraer una porción que represente de manera precisa la masa total realizando dos extracciones con la cuchara.

### D. Procedimiento.

- Coloque una cantidad pequeña de la muestra previamente preparada en la copa de Casagrande. Asegúrese de que la copa repose sobre su base, luego aplique presión hacia abajo y distribuya la muestra en el interior de la copa, extendiéndola aproximadamente 10 mm en su punto más profundo para formar una superficie que sea aproximadamente plana.
- Evite la formación de burbujas de aire en la masa y use la menor cantidad de golpes de espátula posible. Almacene el suelo que no haya sido utilizado en el contenedor previamente mezclado. Para conservar la humedad de la muestra, cubra la bandeja de mezcla con un paño húmedo o cualquier otro material adecuado.

**Figura 9.** Herramientas para hallar Limite Liquido.





*Fuente: MTC E 110 Determinación del límite líquido de los suelos.*

- Usando el acanalador, divida la muestra en la copa y haga una ranura en el suelo a lo largo de la línea que conecta el punto más alto y el más bajo del borde de la copa. Para cortar una ranura, mantenga el acanalador contra la superficie de la copa y dibuje el arco de modo que el chorro de agua sea perpendicular a la superficie de la copa durante todo el recorrido. Para suelos donde las ranuras no se pueden hacer en una sola pasada sin desgarrar el suelo, las ranuras se cortan con varias pasadas del ranurador. Alternativamente, se puede usar una espátula para cortar la ranura un poco más pequeña de lo deseado, y luego se puede usar un acanalador para lograr el tamaño final de la ranura.
- Asegúrese de que no haya tierra residual debajo de la copa. Eleve y suelte con el manubrio a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que los lados adyacentes de la muestra de suelo toquen la longitud de 13 mm (1/2 pulgada) en la parte inferior de la ranura.
- Verificar que no se haya producido el cierre prematuro de la ranura debido a burbujas de aire, observando que ambos lados de la ranura se hayan desplazado en conjunto. Si las burbujas de aire hacen que los agujeros se cierren prematuramente, vuelva a formar el suelo, agregue un poco más de suelo para compensar la pérdida anterior y repita a un contenido más elevado. Si la pasta de arcilla continúa mostrando un comportamiento deslizante en la copa, incluso después de múltiples intentos con contenidos de humedad cada vez más altos, o si el número de golpes requeridos para cerrar la ranura se mantiene constantemente por debajo de 25, en ese caso, se registra el límite como "indeterminado," y el ensayo no se lleva a cabo. Además, se categoriza al suelo como no plástico.
- Haga un registro del número de golpes, denominado como N, requeridos para cerrar la ranura. Tome una porción de suelo del ancho de una espátula y extiéndala desde un extremo al otro de la superficie de la muestra, de manera perpendicular a la ranura. Esto debe incluir la parte de la ranura donde el suelo se encuentra unido. Luego, coloque esta porción en un recipiente cuyo peso sea conocido y cubra el recipiente adecuadamente.
- Vuelva a colocar el suelo restante en la copa al recipiente para mezclar. Lave y seque la copa y el acanalador, fije la copa y vuelva a repetir la prueba.



- Homogeneice todo el volumen de la muestra de suelo en el recipiente mezclador y añada agua destilada para incrementar el contenido de humedad, lo cual disminuirá el número de pasadas necesarias para cerrar la ranura. Lleve a cabo al menos dos pruebas adicionales, reduciendo progresivamente el número de golpes requeridos para cerrar la ranura. Una de las pruebas se llevará a cabo para cierres que demanden entre 25 y 35 golpes, otra para cierres que necesiten entre 20 y 30 golpes, y una tercera prueba para cierres que requieran entre 15 y 25 golpes.
- Calcular el contenido de humedad de cada muestra de suelo sometida al análisis mediante el procedimiento establecido en la norma NTP 339.127. El peso inicial debe ser registrado de inmediato después de concluir la prueba. En caso de que la prueba sea interrumpida por un período superior a 15 minutos, las muestras ya obtenidas deben ser pesadas en el momento exacto de la interrupción. (MTC E110. Determinación del límite líquido del suelo).

### **2.2.5.3. Determinación del límite plástico.**

#### **A. Objeto.**

Determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo.

#### **B. Equipos, Materiales e Insumos.**

- Espátula.
- Recipiente de 115 mm de diámetro.
- Balanza de precisión 0.01 g.
- Horno de secado que llegue a temperaturas de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .
- Tamiz N° 40.
- Agua.
- Superficie de rodadura (vidrio esmerilado).

#### **C. Muestra.**

Para hallar el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de N° 40, preparado para el ensayo de límite líquido. Mezclar con agua destilada hasta formar fácilmente una esfera con la masa de suelo y tomar una porción de 1,5 g a 2,0 g de dicha esfera como muestra para el ensayo.

El suelo al estar en el horno de secado puede variar el límite plástico de un suelo con material orgánico, pero que puede ser de poca importancia.



#### **D. Procedimiento.**

- Formar con la mitad de la muestra una elipse y extenderla sobre una superficie lisa con los dedos de la mano con la presión necesaria para formar cilindros.
- Si el cilindro no colapsa antes de alcanzar aproximadamente 3,2 mm (1/8"), cree otro elipsoide y repita el proceso tantas veces como sea necesario hasta que colapse a unos 3,2 mm (1/8"). El desmoronamiento depende de diferentes tipos de suelo: en suelo muy plástico, los cilindros se distribuyen aprox. 6 mm, mientras que las piezas en suelo plástico son más pequeñas.
- Colocar la porción así obtenida en un vidrio de reloj o filtro de pesaje y continuar el proceso hasta aproximadamente 6 gramos de suelo y determinar la humedad según la norma MTC E 108.
- Repartir con la parte sobrante de suelo  
(MTC E 111, Determinación del límite plástico de los suelos).

#### **2.2.5.4. Ensayo de CBR (Relación de Soporte de California).**

##### **A) Objeto**

Describe el procedimiento de prueba utilizado para determinar un índice de resistencia del suelo conocido como la relación de carga conocida como CBR (California Bearing Ratio). La prueba generalmente se realiza en suelo preparado en laboratorio cuya humedad y densidad han sido determinadas, pero se puede realizar de manera similar en muestras intactas tomadas del suelo.

##### **B) Finalidad y alcance**

- Este método de prueba se utiliza para evaluar la durabilidad potencial de subrasantes, subbases y materiales de base (incluidos los materiales reciclados) para pavimentos de carreteras y pistas. Los valores de CBR obtenidos de esta prueba son una parte integral de varios métodos de recubrimiento flexible.
- Para aplicaciones donde el agua de compactación tiene un efecto mínimo en CBR, como materiales no cohesivos de grano grueso, o donde el proceso de diseño permite diferenciar el efecto del contenido de agua de compactación, el CBR puede determinar el contenido óptimo. El peso unitario seco indicado suele ser el porcentaje de compactación mínimo permitido por la especificación de la unidad del usuario para la compactación del sitio.

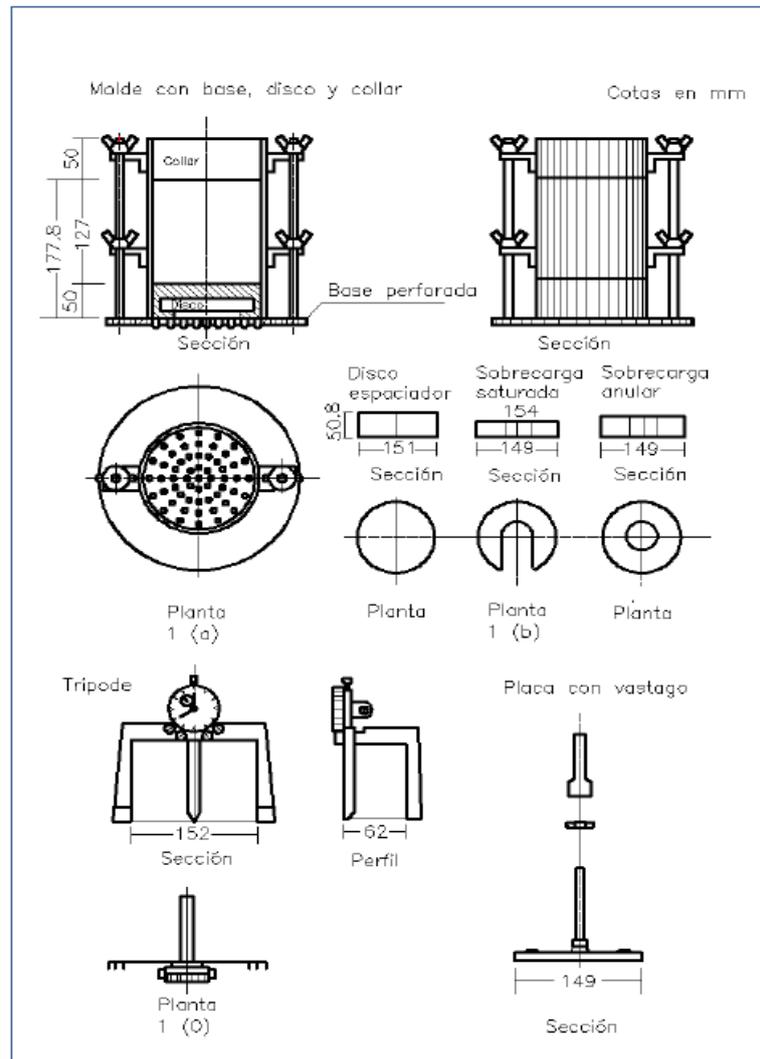


- Para aplicaciones en las que se desconoce el efecto del contenido de agua compactada en CBR o es necesario explicarlo, el CBR se determina para una serie de rangos de agua, generalmente el rango de reducción de agua permitido para la compactación en campo de la entidad usuaria.
- Los criterios para la preparación de muestras de cemento (y otros) materiales que recuperan resistencia con el tiempo deben basarse en evaluaciones geotécnicas de ingeniería. Según las indicaciones del ingeniero, el material cementoso en sí debe endurecerse lo suficiente hasta que se pueda medir una capacidad de carga que corresponda a las condiciones de servicio a largo plazo.
- Este indicador se emplea para valorar la aptitud de la subrasante, así como de las capas de base, subbase y pavimento, en términos de su capacidad de soporte.
- Este modo de operación se aplica a las pruebas con equipo modificado para determinar la relación entre el Peso Unitario y la humedad.

### C) Equipos y Materiales

- **Equipos**
  - Instrumento empleado para aplicar presión y lograr la penetración de un pistón en el espécimen.
  - Es esencial que sea posible ajustar el desplazamiento a una velocidad constante de 1,27 mm por minuto. La prensa de carga debe tener una capacidad y sistema que alcancen o superen los 44,5 kN, y la precisión mínima en la medición tiene que ser de 44 N o menos.
  - Molde, de metal, cilíndrico
  - Disco espaciador circular metálico.
  - Pisón de compactación.

Figura 10. Equipos para ensayo CBR de suelos.



Fuente: MTC E 123 CBR de suelos (laboratorio).

- Aparato medidor de expansión compuesto por:
  - Una placa de metal perforada provista de un vástago en el centro que permita regular su altura.
- Un soporte trípode capaz de descansar sobre el borde del molde, equipado con un dial (deformímetro) que esté firmemente fijado en el centro. El vástago del deformímetro debe alinearse con el de la placa, de manera que facilite la supervisión de su posición y la medición de la expansión, con una precisión de aproximadamente 0,025 mm (0,001"). Pesas. Uno anular y una ranurada metálica.
- Pistón de penetración metálico.



- Dos medidores con una distancia mínima de 25 mm (1") y divisiones de lectura de 0,025 mm (0,001"), siendo uno de ellos equipado con una pieza que posibilita su conexión a la prensa para registrar la penetración del pistón en la muestra.
- Recipiente de agua para sumergir los moldes.
- Horno de secado, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
- Balanzas, una de 20 kg de capacidad y otra de 1000 g con sensibilidades de 1 g y 0,1 g, respectivamente.
- Tamices, de 4,76 mm (No. 4), 19,05 mm (3/4") y 50,80 mm (2").
- Misceláneos, de uso general como cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

#### D) Muestra

- Las muestras se preparan y compactan de acuerdo con NTP 339.141 o NTP 339.142 Métodos de compactación para moldes de 152,4 mm (6 pulgadas), con las siguientes excepciones:

Si todo el material pasa a través del tamiz de 19 mm (3/4 de pulgada), se debe usar la graduación completa para preparar la muestra para la compactación sin modificación. Si queda algún material en la malla de 3/4" (19 mm), debe retirarse y reemplazarse con la misma cantidad de material que pasó a través de la malla de 3/4" (19 mm) y permaneció en la malla N°4.

#### E) Procedimiento

El procedimiento es que los valores de la relación de soporte se obtienen de muestras con el mismo peso unitario y contenido de humedad esperado para el suelo. Las condiciones críticas (peores) de humedad generalmente ocurren cuando el material está saturado.

- **Preparación de la Muestra.** – Con base en los criterios indicados (considerando la relación entre el peso unitario y la humedad utilizando el equipo estándar o modificado), se determina la selección del material a ensayar. Si más del 75% del peso de la muestra pasa a través del tamiz de 19,1 mm (3/4"), se utiliza para el ensayo el material que atraviesa este tamiz. En caso de que se retenga más del 25% en el tamiz de 19,1 mm (3/4"), se separa el material que permanece en dicho tamiz y se lo reemplaza con una proporción de material que se encuentra entre los tamices de 19,1 mm (3/4") y 4,75 mm (N°4), cribando así una parte adicional de la muestra.



Se debe tomar una muestra preparada para el ensayo de 5 kilos por molde de CBR (puede variar dependiendo para que el suelo no exceda al momento de ser enrasado).

Se determina la humedad óptima y la densidad máxima. Debe compactarse una cantidad de especímenes con distintos contenidos de agua para poder establecer la humedad óptima y el peso unitario máximo. Dichos especímenes se preparan con diferentes energías de compactación. Normalmente, se usan la energía del Proctor Estándar, la del Proctor Modificado y una Energía Inferior al Proctor Estándar.

Estudiando así la variación de la relación de soporte con estos dos factores que son los que la afectan principalmente.

Se determina la humedad natural del suelo llevándolo al horno de secado, según norma MTC E 108.

Una vez que se ha identificado la humedad natural del suelo, se incorpora la cantidad precisa de agua requerida para que el suelo alcance el nivel de humedad prescrito para el ensayo. Normalmente, este nivel de humedad óptima se establece a través del ensayo de compactación específico. Luego, se procede a mezclar de manera exhaustiva esta cantidad de agua con la muestra de suelo.

- **Elaboración de especímenes.** Pesar el molde con su base, colocar el anillo y el disco espaciador con un de papel filtro por encima de este.
- Preparado el molde, compactar la muestra preparada en su interior, con distintas energías de compactación para cada molde de tal forma que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas.

Empleamos tres moldes por cada muestra, aplicando diferentes niveles de energía de compactación. Estos niveles consisten en 55, 26 y 12 golpes por capa, y se ajustan al contenido de agua adecuado para suelos granulares. En el caso de suelos cohesivos, se debe realizar el ensayo en un rango amplio de contenidos de humedad.

Se elaboran los gráficos para 55, 26 y 12 golpes por capa, con diferentes humedades, para obtener un conjunto de curvas que muestren la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.

En el proceso de sumergir la muestra, se selecciona una parte del material antes de compactarlo y otra después de la compactación. Estas porciones se combinan y se procede a medir la humedad del suelo conforme a las pautas establecidas en la Norma MTC E 108. Cuando no sea requerido sumergir la muestra, la sección de material destinada a la medición de humedad se extrae del núcleo que se forma al compactar el suelo en el molde, tras llevar



a cabo la prueba de penetración. Esto implica retirar la muestra del molde y dividirla en dos partes iguales.

Terminada la compactación, retirar el anillo para poder enrasar el espécimen de tal forma que la superficie del molde quede uniforme. Si es que fuera necesario rellenar el molde debido a que la superficie no este uniforme, se debe rellenar con material fino sobrante comprimido con la espátula.

Se desarma el molde para invertirlo, retirando el disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base.

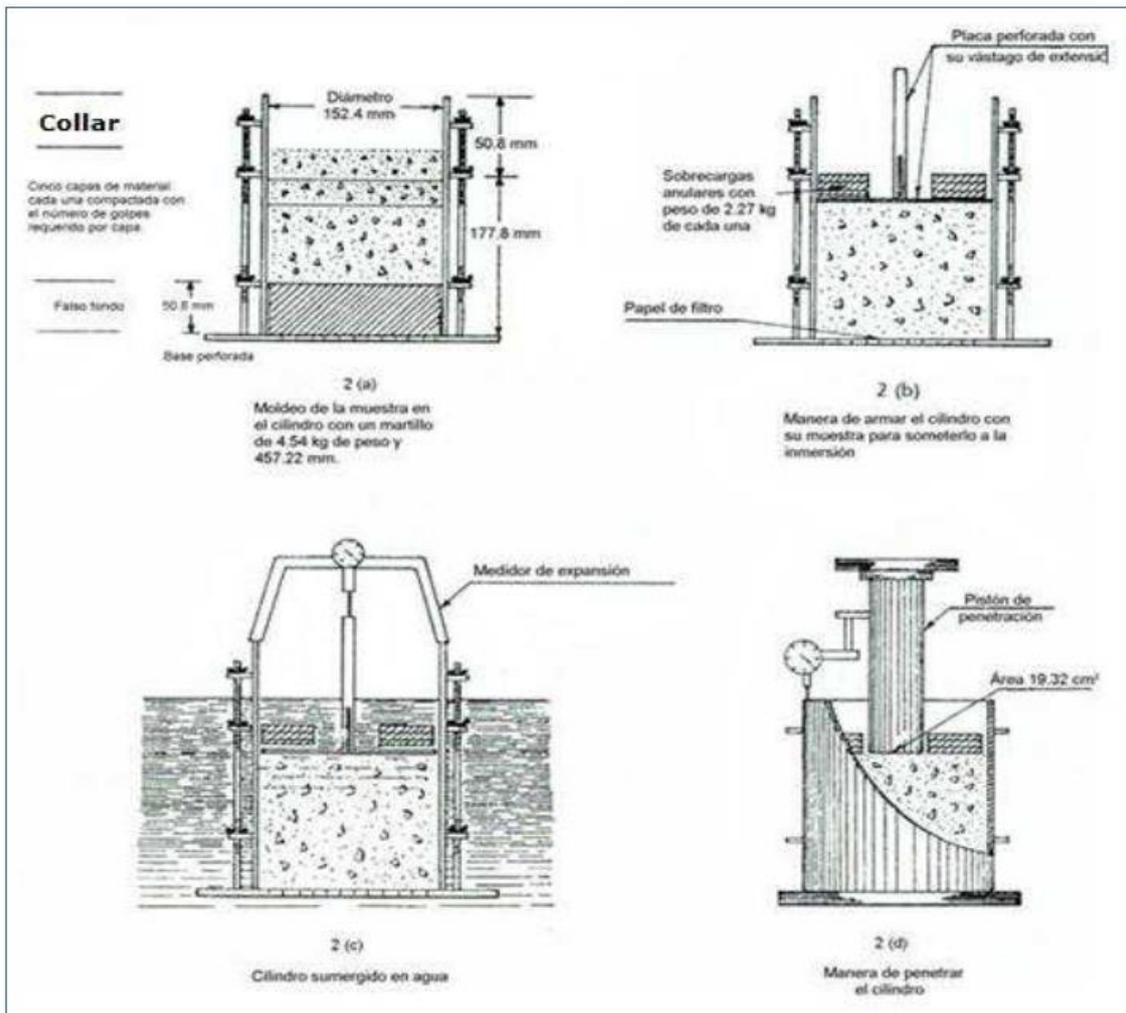
- **Inmersión.** Introducimos la placa perforada junto con su vástago y los anillos necesarios para alcanzar la sobrecarga requerida, de manera que se genere una presión equivalente a las capas que deben ir sobre el suelo que está siendo sometido a la prueba. La aproximación de esta presión se mantiene en un rango entre 2,27 kg y 4,54 kg, sin permitir que supere esta última cifra bajo ninguna circunstancia. Luego, registramos la primera medición para evaluar el hinchamiento, colocando el trípode de medición con sus patas en los bordes del molde y alineando el vástago del dial con el de la placa perforada.

Se registra la lectura del medidor, indicando la fecha y hora, y se procede a sumergir el molde en el tanque con la sobrecarga, manteniendo la muestra en estas condiciones durante un período de 96 horas, es decir, 4 días. En algunos casos, se puede reducir la duración de la inmersión si el suelo granular alcanza la saturación más rápidamente.

Se vuelve a leer el deformímetro al final de la inmersión para medir el hinchamiento. Si es posible, se deja el trípode en dicha posición durante todo el periodo de inmersión; en caso contrario se debe marcar la posición de las patas del trípode en el borde del molde para futuras lecturas. La expansión se calcula como un porcentaje de la altura del espécimen.

Pasado el periodo de inmersión se retira el molde y se vierte el agua sujetando la placa y sobrecarga durante 15 minutos, pasado el tiempo se retira la sobrecarga y se pesa para proceder al ensayo de penetración según lo siguiente.

**Figura 11.** Determinación del valor de la relación de soporte CBR en laboratorio.



*Fuente: MTC E 123 CBR de suelos (laboratorio).*

- **Penetración.** Se utiliza una sobrecarga que sea capaz de generar una carga equiparable al peso del pavimento, con una precisión de aproximadamente  $\pm 2,27$  kg, pero en ningún caso inferior a 4,54 kg. Para prevenir cualquier elevación del suelo en la región donde se ubican las pesas de sobrecarga, se recomienda asentar el pistón una vez que se coloca la primera sobrecarga sobre la muestra. Luego, se coloca el conjunto en una prensa, y el pistón de penetración se introduce en el orificio central del anillo de sobrecarga, añadiendo el resto de la sobrecarga si se emplea el método de inmersión, hasta alcanzar la cantidad requerida. El indicador dial se sitúa de manera que sea posible medir la penetración del pistón, y se aplica una carga de 50N (equivalente a 5 kg) para asentar el pistón. Después, se ajustan los diales medidores a cero, tanto el del anillo de carga como el del control de penetración. Para evitar que la medición de la penetración se vea



influenciada por la del anillo de carga, se coloca el control de penetración entre el pistón y la muestra o el molde.

- Se debe aplicar una sobrecarga que asegure una capacidad de carga equivalente al peso de la superficie de la carretera, aproximadamente  $\pm 2,27$  kg, sin que sea inferior a 4,54 kg. Para prevenir la elevación del suelo en el orificio de carga adicional, es conveniente instalar el pistón después de colocar la primera sobrecarga en la muestra. Se ajusta una escala para medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50 N (equivalente a 5 kg) para asentar el pistón. Luego, se calibran a cero los indicadores de medición, tanto el del anillo de carga como el del control de penetración. Es fundamental posicionar la prueba de penetración entre el pistón y la muestra o molde, de modo que la lectura del anillo de carga no influya en la medición de la penetración.

La carga se aplica al pistón de penetración a través del gato o el mecanismo adecuado de la prensa, manteniendo una velocidad constante de penetración de 1,27 mm (0,05") por minuto. (MTC-E 123, CBR de suelos (laboratorio)).

#### **2.2.5.5. Ensayo de compactación Proctor.**

##### **A) Objeto**

Desarrollar el método de ensayo de laboratorio para la compactación de suelos utilizando energía modificada. (2 700 kN-m/m<sup>3</sup>).

##### **B) Finalidad y alcance**

- Se describen los procedimientos de compactación utilizados en ambientes de laboratorio con el objetivo de establecer la relación entre el contenido de agua y la densidad seca de los suelos compactados en un molde metálico de 101,6 o 152,4 mm de diámetro. Esto se logra mediante el uso de un pistón que ejerce una fuerza de 44,5 N y cae desde una altura de 457 mm. Esta acción genera una Energía de Compactación de 2700 kN-m/m<sup>3</sup>.
- Aplica sólo para los suelos que tienen 30% ó menos en peso retenidas en el tamiz de 19,0 mm.
- Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

##### **Método "A"**

- Molde: 101,6 mm de diámetro (4 pulg)



- Material: Se emplea el que pasa por el tamiz 4,75 mm (N° 4).
- Número de capas: 5
- Golpes por capa: 25
- Uso: Cuando el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm.
- Otros Usos: Si el método no es especificado; los materiales que cumplen estos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

#### **Método "B"**

- Molde: 101,6 mm (4 pulg) de diámetro.
- Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz de 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg).
- Número de Capas: 5
- Golpes por capa: 25
- Usos: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (N°4) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg).
- Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.

#### **Método "C"**

- Molde: 152,4 mm (6 pulg) de diámetro.
- Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg).
- Número de Capas: 5
- Golpes por Capa: 56
- Uso: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg).
- El molde de 152,4 mm (6 pulg) de diámetro no será usado con los métodos A ó B.

- Si el espécimen de prueba contiene más de 5% en peso de un tamaño (fracción gruesa) y el material no será incluido en la prueba se deben hacer correcciones al Peso Unitario y Contenido de Agua del espécimen de ensayo ó la densidad de campo apropiada usando el método de ensayo ASTM D 4718.
- 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).
- En la ingeniería, es común utilizar unidades que representan masa y fuerza, combinando dos sistemas de unidades diferentes: el Sistema Absoluto y el Sistema Gravimétrico. En



este ensayo de laboratorio, se emplean unidades de libra-pulgada (Sistema Gravimétrico), donde la libra (lbf) se utiliza para representar la unidad de fuerza. La elección de libra-masa (lb. m) se hace por razones de conveniencia en lugar de buscar una exactitud científica. Cualquier conversión al Sistema Internacional de Unidades se ajusta según el ensayo ASTM E 380.

- Este procedimiento de prueba no aborda todos los posibles riesgos vinculados a su aplicación, en caso de que existan. El usuario es responsable de establecer medidas de seguridad adecuadas y prácticas de prueba confiables, y de determinar la idoneidad de las restricciones reglamentarias antes de llevar a cabo la prueba.
- El suelo empleado en aplicaciones de relleno, como terraplenes, cimentaciones y bases para carreteras, se somete a compactación con el fin de alcanzar ciertas propiedades que cumplen con requisitos mínimos, tales como resistencia al esfuerzo cortante, compresibilidad o permeabilidad. En muchos casos, los suelos utilizados como cimentación se compactan para mejorar sus características físicas y mecánicas. Los ensayos de compactación realizados en laboratorio nos permiten determinar el contenido de agua necesario para lograr las propiedades deseadas en el suelo.
- En el proceso de diseño de rellenos para proyectos de ingeniería, se realizan diversos ensayos, como los de corte, consolidación o permeabilidad, que requieren la preparación de muestras compactadas a un contenido de humedad específico y con un peso unitario determinado. Lo usual es comenzar por determinar el contenido óptimo de humedad ( $w_o$ ) y el peso unitario seco máximo ( $g_{dm\acute{a}x}$ ) mediante un ensayo de compactación siguiendo las directrices del Manual de Ensayo de Materiales.

Luego, se preparan las muestras compactadas con un contenido de agua elegido ( $w$ ), ya sea por encima o por debajo del óptimo ( $w_o$ ), o directamente en el óptimo ( $w_o$ ), y a un peso unitario seco seleccionado en relación a un porcentaje del peso unitario seco máximo ( $g_{dm\acute{a}x}$ ). La elección del contenido de agua ( $w$ ), ya sea en el lado húmedo o seco del óptimo ( $w_o$ ) o en el óptimo ( $w_o$ ), así como del peso unitario seco ( $g_{dm\acute{a}x}$ ), generalmente se basa en la experiencia previa, aunque en ocasiones es necesario investigar varios valores para determinar el porcentaje de compactación necesario.

- En el proceso de diseño de rellenos para proyectos de ingeniería, se emplean pruebas de consolidación, corte, permeabilidad y otras pruebas que exigen la compactación de las muestras a un contenido de agua específico y a un peso unitario determinado. Es una práctica común comenzar por determinar el contenido de humedad óptimo ( $w_o$ ) y el



peso unitario seco máximo ( $gd_{max}$ ) a través de un ensayo de compactación que sigue las directrices del Manual de Ensayo de Materiales.

Luego, las muestras se compactan al contenido de agua seleccionado ( $w$ ), ya sea en el óptimo ( $w_o$ ) o en el lado húmedo o seco del mismo, y a un porcentaje del peso unitario seco máximo ( $gd_{max}$ ). La elección del contenido de agua ( $w$ ) y del peso base seco ( $gd_{max}$ ) generalmente se basa en la experiencia previa.

### C) Equipos y Materiales

- **Equipos**

- **Ensamblaje del Molde.** - Los moldes deben de ser cilíndricos hechos de materiales rígidos y con capacidad especificadas. Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas o ahusadas. El tipo “partido” deberá tener dos medias secciones circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento que se pueda cerrar en forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección. El tipo “ahusado” debe tener un diámetro interno tipo tapa que sea uniforme y no mida más de 16,7 mm/m (0,200 pulg/pie) de la altura del molde. Cada molde tiene un plato base y un collar de extensión ensamblado, ambos de metal rígido y contruidos de modo que puedan adherir de forma segura y fácil de desmoldar.

El ensamblaje collar de extensión debe tener una altura que sobrepase la parte más alta del molde por lo menos 50,8 mm (2,0 pulg) con una sección superior que sobrepasa para formar un tubo con una sección cilíndrica recta de por lo menos 19,0 mm (0,75 pulg), por debajo de ésta.

El collar de extensión debe de alinearse con el interior del molde, la parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.

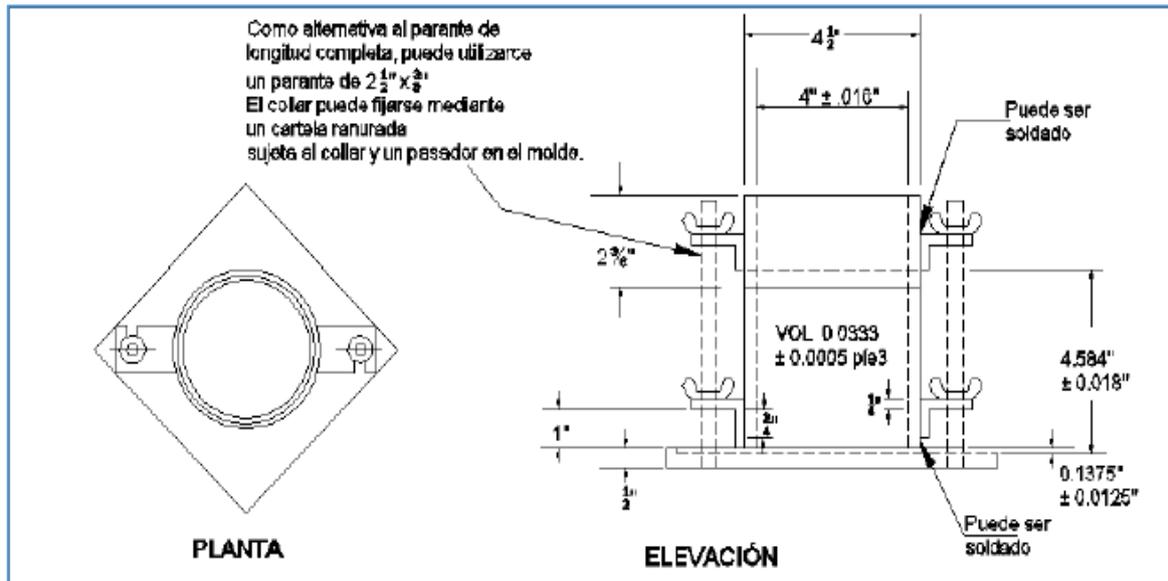
- **Molde de 4 pulgadas.** - Un molde que tenga en promedio  $101,6 \pm 0,4$  mm ( $4,000 \pm 0,016$  pulg) de diámetro interior, una altura de  $116,4 \pm 0,5$  mm ( $4,584 \pm 0,018$  pulg) y un volumen de  $944 \pm 14$  cm<sup>3</sup> ( $0,0333 \pm 0,0005$  pie<sup>3</sup>).
- **Molde de 6 pulgadas.** - Un molde que tenga en promedio  $152,4 \pm 0,7$  mm ( $6,000 \pm 0,026$  pulg) de diámetro interior, una altura de:  $116,4 \pm 0,5$ mm ( $4,584 \pm 0,018$  pulg) y un volumen de  $2\ 124 \pm 25$  cm<sup>3</sup> ( $0,075 \pm 0,0009$  pie<sup>3</sup>).
- **Pisón o Martillo.** - Un pisón operado manualmente como el descrito en 4.1.2.1 de este ensayo ó mecánicamente como el descrito en 4.1.2.2 de este ensayo. El pisón debe caer libremente a una distancia de  $457,2 \pm 1,6$  mm ( $18 \pm 0,05$  pulg) de la superficie de



espécimen. La masa del pisón será  $4,54 \pm 0,01$  kg ( $10 \pm 0,02$  lb-m), salvo que la masa pisón mecánico se ajuste al descrito en el Método de Ensayo ASTM D 2168 . La cara del pisón que golpea deberá ser plana y circular, excepto el nombrado en 4.1.2.3 de este ensayo con un diámetro de  $50,80 \pm 0,13$  mm ( $2,000 \pm 0,005$  pulg). El pisón deberá ser reemplazado si la cara que golpea se desgasta ó se deforma al punto que el diámetro sobrepase los  $50,800 \pm 0,25$  mm ( $2,000 \pm 0,01$  pulg).

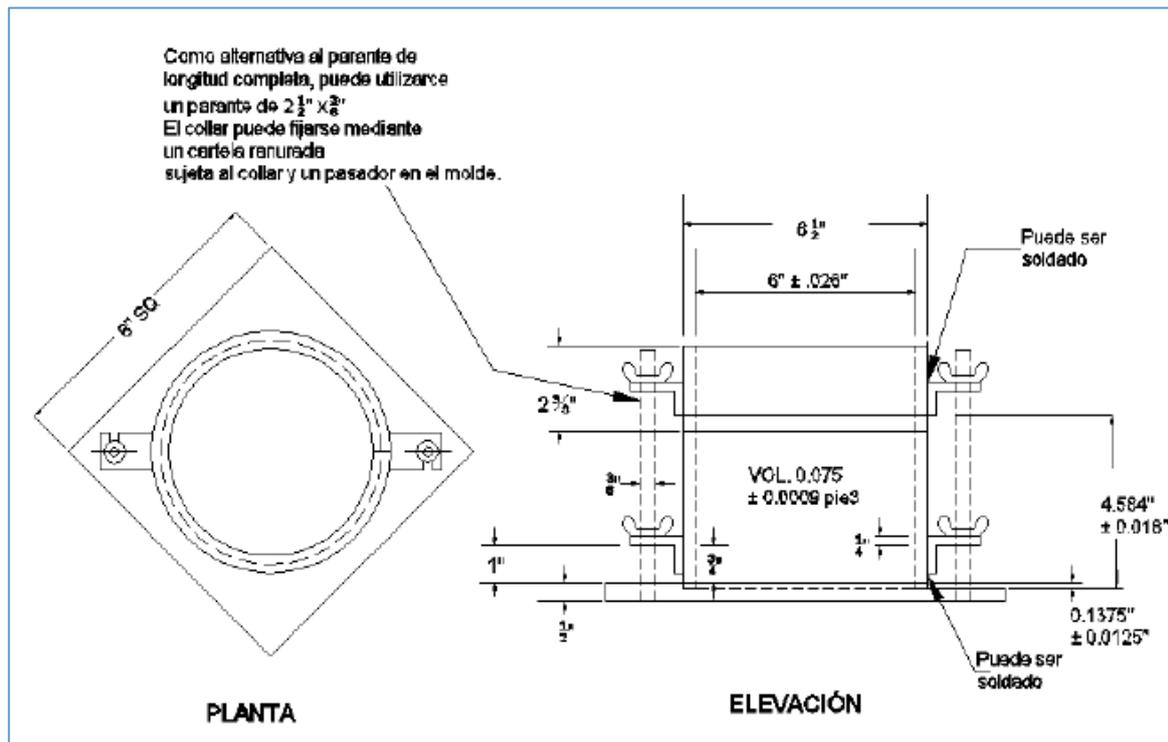
- **Pisón Manual.** - El pisón deberá tener el espacio libre para la caída sin restricciones. La guía deberá tener al menos 4 orificios de ventilación en cada extremo localizados con centros de  $19,0 \pm 1,6$  mm ( $3/4 \pm 1/16$  pulg) y espaciados a  $90^\circ$ .
- **Pisón Mecánico Circular.** - El pisón se opera de forma mecánica proporcionando una cobertura completa y uniforme. Teniendo un espacio libre de  $2,5 \pm 0,8$  mm entre el pisón y la superficie interna del molde. El pisón mecánico debe cumplir los requisitos de calibración requeridos por el Método de Ensayo ASTM D 2168.
- **Pisón Mecánico.** - Cuando se emplea un molde de 152,4 mm, es necesario utilizar un sector de la cara del pistón en lugar del pistón con una cara circular. La cara que entra en contacto con el espécimen tendrá la forma de un sector circular con un radio de  $73,7 \pm 0,5$  mm ( $2,90 \pm 0,02$  pulgadas). El pistón se manejará de manera que los orificios del sector queden en el centro del espécimen.
- **Extractor de Muestras (opcional).** - Instrumentos mecánicos adaptado con la finalidad de extraer los especímenes del molde.
- **Balanza.** - Una balanza que reúna los requisitos de la Especificación ASTM D 4753, para una aproximación de 1 gramo.
- **Horno de Secado.** - Capaz de mantener una temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C en toda la cámara de secado.

Figura 12. Molde cilíndrico de 4,0 pulg.



Fuente: MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado).

Figura 13. Molde cilíndrico de 6,0 pulg.



Fuente: MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado).



- **Materiales**

- **Regla.** - Una regla recta metálica no menor que 254 mm.
- **Tamices ó Mallas.** - De 19,0 mm (3/4 pulg), 9,5 mm (3/8 pulg) y 4,75mm (Nº 4), conforme a los requisitos de las especificaciones ASTM E11.
- **Herramientas de Mezcla.** - Cucharas, morteros, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. ó un aparato apropiado para realizar la mezcla completa de suelo con incrementos de agua.

#### D) Muestra

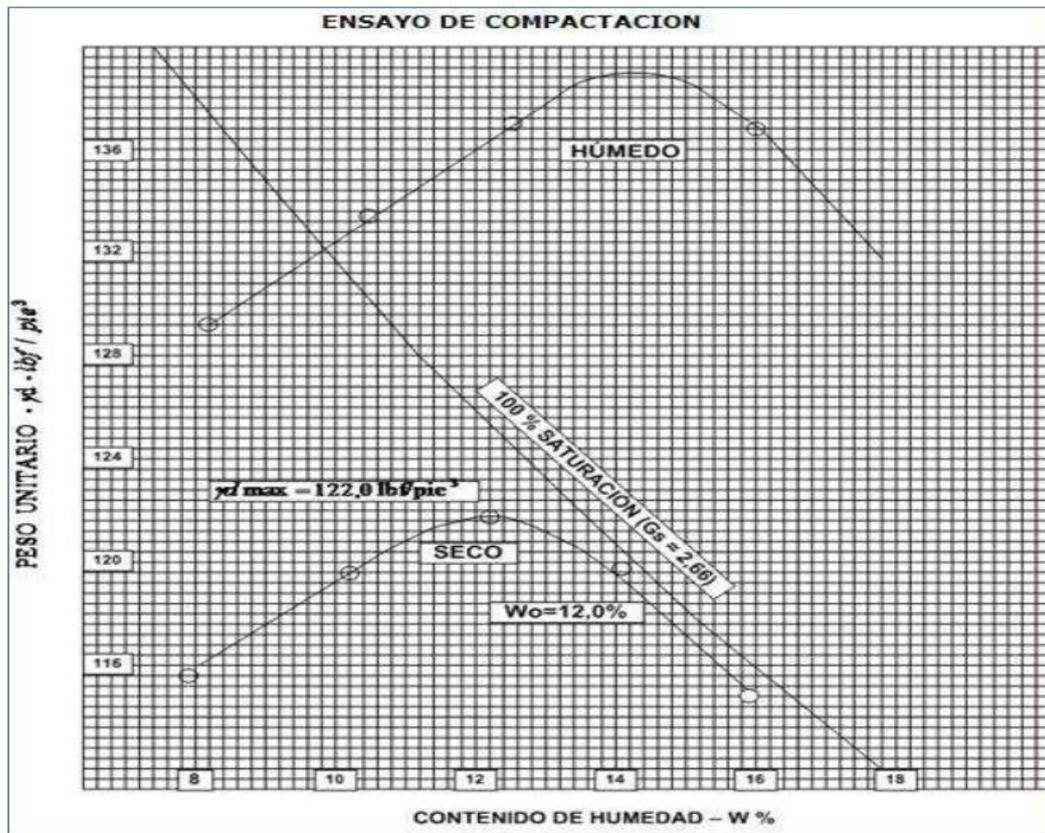
- La masa de la muestra requerida para el Método A y B es aproximadamente 16 kg (35 lbm) y para el Método C es aproximadamente 29 kg (65 lbm) de suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener un peso húmedo de al menos 23 kg (50 lbm) y 45 kg (100 lbm) respectivamente.
- Determinar el porcentaje de material retenido en la malla 4,75mm (Nº 4), 9,5mm (3/8 pulg) ó 19.0mm (3/4pulg) para escoger el Método A, B ó C. Realizar esta determinación separando una porción representativa de la muestra total y establecer los porcentajes que pasan las mallas de interés mediante el Método de Análisis por tamizado de Agregado Grueso y Fino (NTP 339.128 ó ASTM C 136). Sólo es necesario para calcular los porcentajes para un tamiz ó tamices de las cuales la información que se desea.

#### E) Procedimiento

- **Preparación de aparatos**

- Seleccionar el molde de compactación apropiado a ser usado. Pesar y anotar su masa. Ensamblar el molde, base y collar de extensión.
- Revisar que el pisón esté en óptimas condiciones.
- Se debe calibrar los siguientes aparatos antes del primer uso en los siguientes aparatos:
  - **Balanza.** - Evaluar de acuerdo con especificaciones ASTM D 4753.
  - **Moldes.** - Hallar el volumen.
  - **Pisón Manual.** - Comprobar la altura de la caída libre, la masa del pisón y la superficie de contacto del pisón.
  - **Pisón Mecánico.** – Calibrar y ajustar el pisón mecánico de acuerdo al Método de Ensayo ASTM D 2168. Además, el espacio libre entre el pisón y la superficie interior del molde.

Figura 14. Ejemplo de Gráfico de Curva de Compactación



Fuente: MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado).

- **Preparación del ensayo**

- **Suelos**

- No se puede usar el material que ha sido compactado anteriormente.
- Preparar el suelo húmedo para su ensayo teniendo en cuenta que los resultados pueden verse afectados por el secado al aire.

- **Método de preparación húmeda (preferible)**

- Sin secar la muestra, pasarla por el tamiz N° 4; 9,5mm ó 19,0 mm, dependiendo del Método determinar el contenido de agua del suelo.
- Preparar como mínimo cuatro especímenes con contenidos de agua distintos pero que se acerquen al óptimo estimado. El espécimen que contiene un contenido de humedad cercano al óptimo deberá ser preparado primero, añadiendo agua y mezcla. Usar especímenes que tengan un contenido de agua de tal forma que dos sean secos y dos sean húmedos y que varíen de acuerdo al contenido de humedad óptimo en 1% como mínimo. Algunos suelos con bajo contenido de agua o una curva de compactación



relativamente plana requieren grandes incrementos de contenido de agua para obtener un Peso Unitario Seco Máximo bien definido.

- Usar especímenes de 2,3 kg aproximadamente y que se compacte empleando el Método A ó B; ó 5,9 kg cuando se emplee el Método C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen de este ensayo, añada o remueva cantidades de agua de la siguiente forma: Añadir porcentualmente poco a poco el agua al suelo durante la mezcla. Secar la muestra al aire a una temperatura ambiente o en un horno de secado sin exceder temperaturas de 60°C.

- **Método de preparación en seco**

- Si la muestra presenta un exceso de humedad, es necesario reducir su contenido de agua mediante el proceso de secado, que puede realizarse al aire libre o en un horno de secado a una temperatura que no supere los 60 °C. Luego, se procederá a tamizar el material a través del tamiz adecuado, que puede ser de 4,75 mm, 9,5 mm o 19,0 mm.
- Realizar un mínimo de cuatro especímenes.
- Emplear alrededor de 2,3 kg de suelo tamizado por cada espécimen en el caso de los Métodos A y B, o 5,9 kg si se utiliza el Método C.

- **Compactación.** - Tras el proceso de curado, se procederá a compactar cada espécimen de la siguiente manera:

- Determinar y anotar la masa del molde ó molde y el plato de base.
- Preparar y fijar de manera segura el molde y el collar a una base adecuada. La base debe ser una superficie sólida y uniforme, como la que proporciona un bloque de concreto que tenga un peso no inferior a 91 kg, y asegurarse de que esté conectada a una cimentación resistente. La metodología de anclaje al cimiento resistente debe ser diseñada de tal manera que permita el desmolde sin dificultad del molde montado.
- Se debe compactar el espécimen en cinco capas con aproximadamente el mismo espesor. Para la compactación, colocar el suelo suelto dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Posterior a la compactación de cada uno de las cuatro primeras capas, cualquier excedente del molde será recortada. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para la próxima capa. La cantidad total de suelo usado será tal que la quinta capa compactada se extenderá ligeramente dentro del collar, pero no excederá 6 mm (1/4pulg) de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende en más de 6 mm (1/4pulg) de la parte superior del molde, el espécimen será descartado.



El espécimen será descartado cuando el último golpe del pisón para la quinta capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación.

- Compactar cada capa con 25 golpes para el molde de 101,6 mm (4 pulg) ó 56 golpes para el molde de 152,4 mm (6 pulgadas).
- Al operar el pisón manual, se debe tener cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Aplicar los golpes uniformemente aproximadamente 25 golpes/minuto proporcionando una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.
- Al finalizar la última capa, se debe retirar el collar y plato base del molde. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.
- Enrasar el espécimen compactado, se puede usar una regla metálica a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior del molde. Rellenar cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o cortado del espécimen, presionar con los dedos y raspar con la regla metálica. En el caso de suelos con un contenido de humedad extremadamente alto o bajo, se corre el riesgo de perder suelo o agua si se retira el plato base. Por lo tanto, se debe mantener el plato base unido al molde. Cuando se mantiene el plato base unido al molde, se debe calibrar el volumen del molde con el plato base fijado ya sea al molde en sí o a un plato de plástico o vidrio.
- Tome nota de la masa del espécimen y el molde con una precisión de 0.1 gramos. Si el plato base permanece unido al molde, calcule y registre la masa del espécimen, el molde y el plato base con una precisión de 0.1 gramos.
- Remueva el material del molde. Quedarse con una porción para determinar el contenido de agua. Si se utiliza todo el espécimen, romperlo para facilitar el secado. De otra forma se puede obtener una porción cortando axialmente por el centro del espécimen compactado y removiendo 500 g del material de los lados cortados. (MTC E 115, Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)).

## **2.2.6. Polímero.**

### **2.2.6.1. Definición.**

Es una sustancia compuesta por moléculas grandes formadas por muchas pequeñas unidades repetitivas llamadas monómeros. El número de unidades que se repiten en una macromolécula



se denomina grado de polimerización. Una sustancia con un alto grado de polimerización se llaman altos polímero. Los homopolímeros son polímeros con un solo tipo de unidad repetitiva. Varias unidades diferentes se repiten en un copolímero. (Beltran Rico & Marcilla Gomis, 2012)

Un polímero es una macromolécula formada por la combinación repetida de una o más moléculas unidas por enlaces covalentes. El término macromolécula se refiere a moléculas muy grandes. "Polímero" y macromolécula son términos que a menudo se usan indistintamente, aunque no son estrictamente equivalentes, ya que, en principio, las moléculas no tienen por qué consistir en unidades repetitivas. Dependiendo del origen, los polímeros pueden ser naturales o sintéticos, y los sintéticos, que suelen contener de uno a tres tipos de unidades diferentes, mientras que los de composición natural tienen una estructura mucho más compleja. (Beltran Rico & Marcilla Gomis, 2012).

Los componentes que se unen para crear polímeros se conocen como monómeros, y el proceso de creación se llama polimerización. Cuando una cadena de polímeros está formada por una sola molécula, se llama homopolímero, mientras que, si contiene dos o más moléculas de polímeros diferentes, se le conoce como copolímero. Las reacciones de polimerización se suelen dividir en dos categorías: reacciones de adición y reacciones de condensación. Los polímeros resultantes de estos procesos se denominan polímeros de adición y polímeros de condensación, respectivamente.

Los polímeros adjuntos en la siguiente tabla muestran las estructuras de polietileno, polipropileno, poliestireno, cloruro de polivinilo, poliacrilonitrilo, metacrilato de polimetilo y polibutadieno.



**Tabla 5.** Polímeros de adición de uso frecuente

| Polímero                    | Abreviatura | Unidad de repetición  |
|-----------------------------|-------------|---|
| Polietileno                 | PE          | $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$   |
| Polipropileno               | PP          | $-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$                           |
| Poliestireno                | PS          | $-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-$                  |
| Poli(cloruro de vinilo)     | PVC         | $-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$                             |
| Poliacrilonitrilo           | PAN         | $-\text{CH}_2-\underset{\text{C}\equiv\text{N}}{\text{CH}}-$                |
| Poli(metacrilato de metilo) | PMMA        | $-\text{CH}_2-\underset{\text{COOCH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{CH}}}-$ |
| Polibutadieno (1,4-cis)     | PB          | $-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$                             |

*Fuente: Beltran Rico & Marcilla Gomis, 2012.*

**Tabla 6.** Polímeros de condensación de uso frecuente

| Polímero                     | Abreviatura | Unidad de repetición   |
|------------------------------|-------------|--|
| Poliéster                    |             | $-\text{R}-\text{OCO}-\text{R}'-\text{COO}-$   |
| Poliamida                    | PA          | $-\text{NH}-\text{R}-\text{NHCO}-\text{R}'-\text{CO}-$   |
| Policarbonato                | PC          | $-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}-$ |
| Poli(etilen terftalato)      | PET         | $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OCO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}-$   |
| Poliuretano                  | PU          | $-\text{NH}-\text{COO}-\text{R}-\text{OCO}-\text{NH}-\text{R}'-$   |
| Resina de Fenol-formaldehido |             | $-\text{C}_6\text{H}_2(\text{OH})_2-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_2(\text{OH})_2-\text{CH}_2-$                          |

*Fuente: Beltran Rico & Marcilla Gomis, 2012.*



### **2.2.6.2. Estructura de los polímeros.**

En términos generales, el estudio de la estructura de los polímeros se aborda considerando dos aspectos: la estructura química y la estructura física. La estructura química se relaciona con la configuración de las moléculas individuales, mientras que la estructura física se refiere a cómo estas moléculas están dispuestas en relación con otras moléculas. La estructura física se centra en aspectos como la orientación y la cristalinidad, y estos están influenciados en gran medida por la estructura química, la cual, a su vez, determina el comportamiento del material durante su procesamiento y vida útil. Los polímeros son sustancias compuestas por moléculas de gran tamaño que se forman a partir de la repetición de unidades más pequeñas llamadas monómeros. Cuando se tiene un alto grado de repetición de estas unidades, se considera que se ha formado un polímero. Si el polímero está formado por una sola unidad repetitiva, se denomina homopolímero, mientras que si presenta varias unidades diferentes que se repiten, se le llama copolímero.

Muchas sustancias orgánicas presentes en seres vivos, como proteínas, madera, quitina, caucho y resina, son ejemplos de polímeros, y lo mismo ocurre con una amplia gama de materiales sintéticos como plásticos, fibras (como el nylon y la viscosa), adhesivos, vidrio y porcelana (Beltran Rico & Marcilla Gomis, 2012).

### **2.2.7. Estabilizador Z.**

Cumple con la norma MTC 1109-2004 para estabilizadores químicos.

#### **2.2.7.1. Definición.**

Es un polímero aplicado al suelo que proporciona superficies más compactas, impermeables y no tóxicas.

Diluya el estabilizador Z 1-4 veces con agua. Es un aditivo que se usa como estabilizador porque brinda estabilidad al afirmado o al suelo, al mantener juntas las partículas finas alrededor de las partículas gruesas, lo que mejora la cohesión, la resistencia y compactación de capas relativamente gruesas de un suelo graduado adecuadamente. Aporta resistencia y durabilidad al material. El espesor de material estable lo hace resistente al tráfico relativamente pesado.

Debe quedar claro que el Estabilizador Z con polímeros se usa de manera diferente dependiendo de si se usa su aplicación en afirmado graduado adecuadamente o para su aplicación en suelos naturales.



Cuando se utiliza en determinados afirmados, tiende a aumentar su estabilidad, es decir, aumenta la cohesión, la compactación y la resistencia de capas relativamente gruesas de material correctamente clasificado. (Hoja Técnica – Edición 18).

#### **2.2.7.2. Estabilizador Z como Estabilizador de Suelos.**

Cuando se aplica a suelos naturales, el éxito depende del tipo de suelo y el resultado varía desde cero en suelos arenosos y rocosos hasta mejores resultados en suelos arcillosos. En suelos arcillosos la aplicación de Estabilizador Z con polímero penetra solo unos centímetros, dando como resultado una costra pegajosa similar a la que se obtiene con riegos constantes debido a la humedad. En ausencia de lluvia, la aplicación de Estabilizador Z sobre suelo arcilloso permite la circulación de vehículos y peatones. (Hoja Técnica – Edición 18).

#### **2.2.7.3. Ventajas del Estabilizador Z**

Los caminos sin pavimentar tratados con Estabilizador Z son el intermedio perfecto entre una superficie de rodadura y asfaltados sueltos y polvorientos. Este argumento es válido tanto desde el punto de vista del costo como del rendimiento.

El polvo generado por las actividades del tráfico puede causar molestias a los pasajeros, aumentar el riesgo de accidentes y la pérdida de materiales de la vía. Mientras que los dos primeros problemas generaron más quejas o demandas, el último significa importantes pérdidas económicas.

Se ha comprobado que las pérdidas materiales por kilómetro en una vía de 6 metros de longitud con un tránsito de 100 vehículos por día, pueden alcanzar más de 20 metros al año. El uso de Estabilizador Z con polímeros reduce significativamente estas pérdidas y elimina otros problemas de polvo.

Además de las ventajas mencionadas anteriormente, el uso de estabilizador Z con polímeros en la construcción de pavimentos también brinda las siguientes ventajas: compactación más rápida, es decir, se necesitan menos pasadas de rodillo para lograr una determinada compactación: mayor densidad, buenas condiciones de trabajo durante la construcción (menos polvo).

Los resultados óptimos se obtienen al incorporar el Estabilizador Z en el agua durante la construcción del afirmado, ya que esto no solo produce un afirmado estable y libre de polvo, sino que también aumenta la densidad de la estructura sin requerir un esfuerzo excesivo. Se



aconseja la saturación del suelo compactado con el estabilizador Z, que está compuesto por polímeros. (Hoja Técnica – Edición 18).

#### **2.2.7.4. Aplicación del Estabilizador Z**

Los resultados óptimos se obtienen al introducir el Estabilizador Z en el agua utilizada para la construcción del afirmado. Este enfoque no solo conduce a un afirmado estable y sin polvo, sino que también permite lograr una mayor densidad en la construcción con un menor esfuerzo. (Hoja Técnica – Edición 18).

#### **2.2.7.5. Rendimiento del Estabilizador Z**

Solución: Estabilizador Z con polímero 1+ 4 partes de agua.

01 cilindro Estabilizador Z con polímero = 55 gal. (Hoja Técnica – Edición 18).

#### **2.2.8. Tipos de Cemento**

Todos los cementos utilizados en Perú son cemento Portland conforme a la norma ASTM C 150; o cementos compuestos como se especifica en ASTM C 595. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva L. Enrique. P.95).

De los cuales se tiene:

- A. Tipo I:** Utilizado en aplicaciones generales, no requiere propiedades específicas.
- B. Tipo II:** Exhibe resistencia moderada a los sulfatos y genera calor de hidratación moderado. Se emplea en estructuras sometidas a ambientes agresivos o en colados de gran volumen.
- C. Tipo III:** Desarrolla resistencia rápidamente y produce una cantidad considerable de calor durante la hidratación. Adecuado para su uso en climas fríos.
- D. Tipo IV:** Caracterizado por un bajo calor de hidratación, siendo una elección recomendada para concretos de gran volumen.
- E. Tipo V:** Se recomienda para entornos altamente agresivos debido a su alta resistencia a los sulfatos.

El llamado "cemento añadido" es una mezcla de cemento y materiales con propiedades puzolánicas que se muelen juntos. Estos "cementos añadidos", por un lado, requieren la presencia de clinker en el conglomerante, y sus productos hidrolizados son atacados por diversos agentes agresivos, según la situación, y esto conduce a la destrucción del concreto.

Por otro lado, con esta dilución se recomienda reducir el calor de hidrólisis, lo que no es adecuado para concretos puesto en obra de grandes magnitudes, donde la temperatura aumenta



debido a la baja conductividad térmica del concreto. Durante el enfriamiento, se produce una contracción significativa que conduce a la formación de grietas.

## 2.2.9. Cemento Portland Tipo IP.

### 2.2.9.1. Definición.

El cemento portland es el nombre que se le da al cemento que se obtiene mezclando finamente materiales de cal y arcilla u otros materiales que contienen dióxido de silicio, alúmina y óxidos de hierro, quemándolos a la temperatura de clinkerización y moliendo el clínker resultante. (Neville y Brooks ,2010).

De acuerdo al MTC (2013), se define el cemento hidráulico como un producto resultante de la molienda del clínker Portland, al cual se añade yeso natural al final del proceso. El clínker Portland se produce mediante la calcinación de una mezcla de caliza y arcilla a temperaturas que varían entre 1350 y 1450 °C.

### 2.2.9.2. Composición Química del Cemento.

Cuatro son los componentes considerados como los principales constituyentes del cemento, tal como presentaremos en la siguiente Tabla. Generalmente se utiliza la notación abreviada para describir cada componente (óxido): CaO = C (cal); SiO<sub>2</sub> = S (sílice); Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = A (alúmina) y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = F (óxido férrico). De igual manera, H<sub>2</sub>O en el cemento hidratado es denotado por H (agua).

**Tabla 7.** Composición química del cemento.

| Nombre del Compuesto        | Composición del óxido   | Abreviación | Nombre común (en su estado impuro) |
|-----------------------------|---|-------------|------------------------------------|
| Silicato tricálcico         | 3CaO.SiO <sub>2</sub>   | C3S         | Alita                              |
| Silicato dicálcico          | 2CaO.SiO <sub>2</sub>   | C2S         | Belita                             |
| Aluminato tricálcico        | 3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                 | C3A         | Celita                             |
| Aluminoferrito tetracálcico | 4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | C4AF        | Felita                             |

*Fuente: Adaptado de Neville y Brooks 2010.*



### **2.2.9.3. Cemento Portland Tipo IP como estabilizador.**

Al estabilizar un suelo con Cemento Portland lo que se consigue principalmente es un cambio en el estado hídrico del suelo, pues este sufre un secado por el hecho de que se le está adicionando una cierta cantidad de materia seca y también por la pérdida de agua que supone la hidratación del conglomerante. La adición de cemento Portland ayuda a generar en el suelo una resistencia mecánica, esta puede variar ampliamente y es función principalmente del tipo de cemento que se aplique y su dosificación.

En suelos finos, limosos o arcillosos con una plasticidad baja, la hidratación del cemento va a crear unos enlaces resistentes entre las partículas formando una estructura en forma de panal en las de las cuales dependerá la resistencia de la mezcla. El efecto que produce el cemento es que reduce la plasticidad y aumenta la resistencia al esfuerzo cortante; produce además una reducción de la afinidad del suelo por agua, con eso disminuye la capacidad del suelo de retener agua. Debido a esto el potencial de hinchamiento del suelo se ve reducido al igual que se disminuyen los efectos de congelación y deshielo (Sánchez, 2015).

## **2.3. Hipótesis**

### **2.3.1. Hipótesis General**

El estabilizador Z y el Cemento Portland tipo IP influye positivamente en las propiedades físico-mecánicas del suelo de subrasante de la Prolongación José Carlos Mariátegui del distrito de San Sebastian-Cusco-2022.

### **2.3.2. Sub-Hipótesis**

- El estabilizador Z y el Cemento Portland tipo IP influye positivamente en los Límites de Atterberg del suelo de la subrasante de la Prolongación José Carlos Mariátegui del distrito de San Sebastian-Cusco-2022.
- El estabilizador Z y el Cemento Portland tipo IP influye positivamente en la densidad máxima seca del suelo de la subrasante de la Prolongación José Carlos Mariátegui, del distrito de San Sebastian-Cusco-2022.
- El estabilizador Z y el Cemento Portland tipo IP influye positivamente en la Capacidad de Soporte (CBR) del suelo de la Prolongación José Carlos Mariátegui, del distrito de San Sebastian-Cusco-2022.



## 2.4. Definición de Variables

### 2.4.1. Variables Independientes

- **Estabilizador Z.**

*Indicadores:*

- Adición de 1% de Estabilizador Z.
- Adición de 2% de Estabilizador Z.
- Adición de 4% de Estabilizador Z.

- **Cemento Portland tipo IP.**

*Indicadores:*

- Adición de 4% del Cemento Portland tipo IP.

### 2.4.2. Variables Dependientes

Propiedades Físico Mecánicas del suelo de subrasante.

- **Dimensiones: Límites de Plasticidad.**

*Indicadores:*

- Límite Líquido
- Límite plástico

- **Dimensiones: Densidad Máxima Seca.**

*Indicadores:*

- Peso del suelo húmedo.
- Volumen del suelo húmedo.
- Contenido de humedad.

- **Dimensiones: Soporte de California (CBR).**

*Indicadores:*

- Contenido de humedad.
- Densidad máxima seca.
- Carga unitaria de ensayo.
- Carga unitaria patrón.



### 2.4.3. Cuadro de Operacionalización de Variables

| Cuadro Operacionalización de variables               |  |   |  |   |          |
|--|--|---|--|---|----------|
| Variable   | Definición conceptual  | Definición operacional  | Dimensiones  | Indicadores                                 | Unidades |
| <b>Independiente</b>                                 |  |   |  |   |          |
| Estabilizador Z                                      | Es un aditivo que sirve como estabilizador de suelos que tiene la capacidad de mantener las partículas finas unidas y compactas de las gruesas mejorando la cohesión, compactación y resistencia. Lo que mejora las propiedades físico mecánicas del suelos y le da estabilización. (Ficha Técnica -Edición 19)  | Para su mayor entendimiento el proyecto de investigación se ha dividido en dos variables independientes.  | Proporciones de acuerdo al porcentaje de adición de Estabilizador Z          | Adición del 1%, 2% Y 4% del estabilizador Z | Lt       |
| Cemento Portland tipo IP                             | El cemento Portland se puede utilizar para modificar y mejorar la calidad del suelo o para transformar el suelo en una masa cementada, lo que aumenta significativamente su resistencia y durabilidad (USACE 1984). Das (2012) indica que el cemento, además, puede ser empleado para estabilizar suelos arenosos y arcillosos. Igual que en el caso de la cal, el cemento ayuda a disminuir el índice de plasticidad y aumenta la manejabilidad de los suelos arcillosos. | Para su mayor entendimiento el proyecto de investigación se ha dividido en dos variables independientes.  | Proporciones de acuerdo al porcentaje de adición de Cemento Portland Tipo IP | Adición del 4% Cemento Portland tipo IP     | Kg       |
| <b>Dependiente</b>                                   |  |   |  |   |          |
| Propiedades físico mecánicas del suelo de subrasante | Según el autor (Roca Elias, 2012 p. 3) argumenta que es aquel comportamiento interno o externo que sufre la subrasante a causa de fuerzas aplicadas. Para el autor las propiedades mecánicas se pueden manifestar en cantidades relacionadas al esfuerzo o de la deformación o incluso ambas en simultáneo.  | Para su mayor entendimiento el proyecto de investigación se ha dividido en una variable, esta variable consta de tres dimensiones relacionadas entre sí, que a su vez fueron subdivididos en tres, tres y cuatro indicadores respectivamente. | Límites de Consistencia  | Límite Líquido.                             | %        |
|  |  |   |  | Límite Plástico.                            |          |
|  |  |   | Grado de Compactación  | Peso del suelo húmedo.                      |          |
|  |  |   |  | Volumen del suelo húmedo.                   |          |
|  |  |   | Soporte de California (CBR)  | Contenido de Humedad.                       | %        |
|  |  |   |  | Densidad máxima seca.                       |          |
| Carga unitaria de ensayo.                            |  |   |  |   |          |
|  | Carga unitaria patron.   |   |  |   |          |

*Fuente: Elaboración Propia.*



## **Capítulo III: Metodología**

### **3.1. Metodología de la Investigación**

#### **3.1.1. Enfoque de la Investigación**

Consideramos una investigación cuantitativa porque es necesario utilizar la estadística, que es la base de este enfoque, analizando la realidad objetiva a partir de mediciones numéricas y análisis estadístico para determinar la predicción de fenómenos o patrones de comportamiento del problema. Este enfoque utiliza la recopilación de datos para probar hipótesis formuladas antes del proceso metodológico; los métodos cuantitativos formulan un problema y preguntas específicas a partir de las cuales se extraen hipótesis a través de experimentos y análisis causales, enfatizando que este tipo de investigación conduce a un proceso secuencial y deductivo. Al final de la investigación se debe lograr la generalización de los resultados, la predicción, el control del fenómeno y la posibilidad de hacer una réplica de la investigación mencionada. (Sampieri, 2006. Metodología de la Investigación. p. 34).

Nuestra presente investigación es de carácter cuantitativo dado que recopilaremos y analizaremos la información del suelo estabilizado con Estabilizador Z y Cemento Portland tipo IP a través de ensayos y la estadística, lo que nos permitirá evaluar su influencia en sus propiedades físicas y mecánicas buscando resultados positivos.

#### **3.1.2. Nivel o alcance de la Investigación**

La investigación explicativa va más allá de describir eventos o fenómenos o establecer relaciones entre ellos. Están diseñados para responder a la causa de eventos físicos o sociales. Su propósito es explicar las ocurrencias de un determinado fenómeno y bajo qué condiciones ocurre, o por qué se relacionan dos o más variables. (Fernández. Metodología de la investigación. 1997).

Nuestra presente investigación se encuentra dentro de un nivel explicativo ya que tiene por causa a los componentes: Estabilizador Z y Cemento Portland tipo IP y el efecto vendría a ser la mejora de las propiedades físico-mecánicas del suelo en estudio.

#### **3.1.3. Método de investigación**

El método hipotético - Deductivo es un procedimiento o camino que sigue un investigador para convertir su práctica en una actividad científica. Este método implica varios pasos principales: observar el fenómeno en estudio, formular una hipótesis que explique el fenómeno, deducir una consecuencia o afirmación más fundamental que la hipótesis misma y verificar su validez o veracidad, comparándolos con la experiencia (Hernández Sampieri, & Baptista Lucio, 2014).



En la presente tesis usamos el método Hipotético-Deductivo debido a que se trata de verificar la veracidad o negativa de las hipótesis planteadas en nuestra investigación, establecer mediante la investigación, la influencia del Cemento Portland tipo IP y Estabilizador Z como aditivos en nuestro suelo, así como también sacar conclusiones sobre eventos que se espera ocurran.

### **3.2. Diseño de la Investigación**

#### **3.2.1. Diseño Metodológico**

Se considera el diseño de la investigación experimental, ya que se manipula las variables independientes y las unidades son asignadas de forma aleatoriamente a los distintos niveles o categorías de las variables, dentro de las variables de estudio hablamos de las independientes que serán manipuladas y las dependientes que nos ayudarán a realizar la medición de nuestros patrones.

Variable independiente: Son las condiciones que el investigador manipula para probar los efectos sobre la variable dependiente.

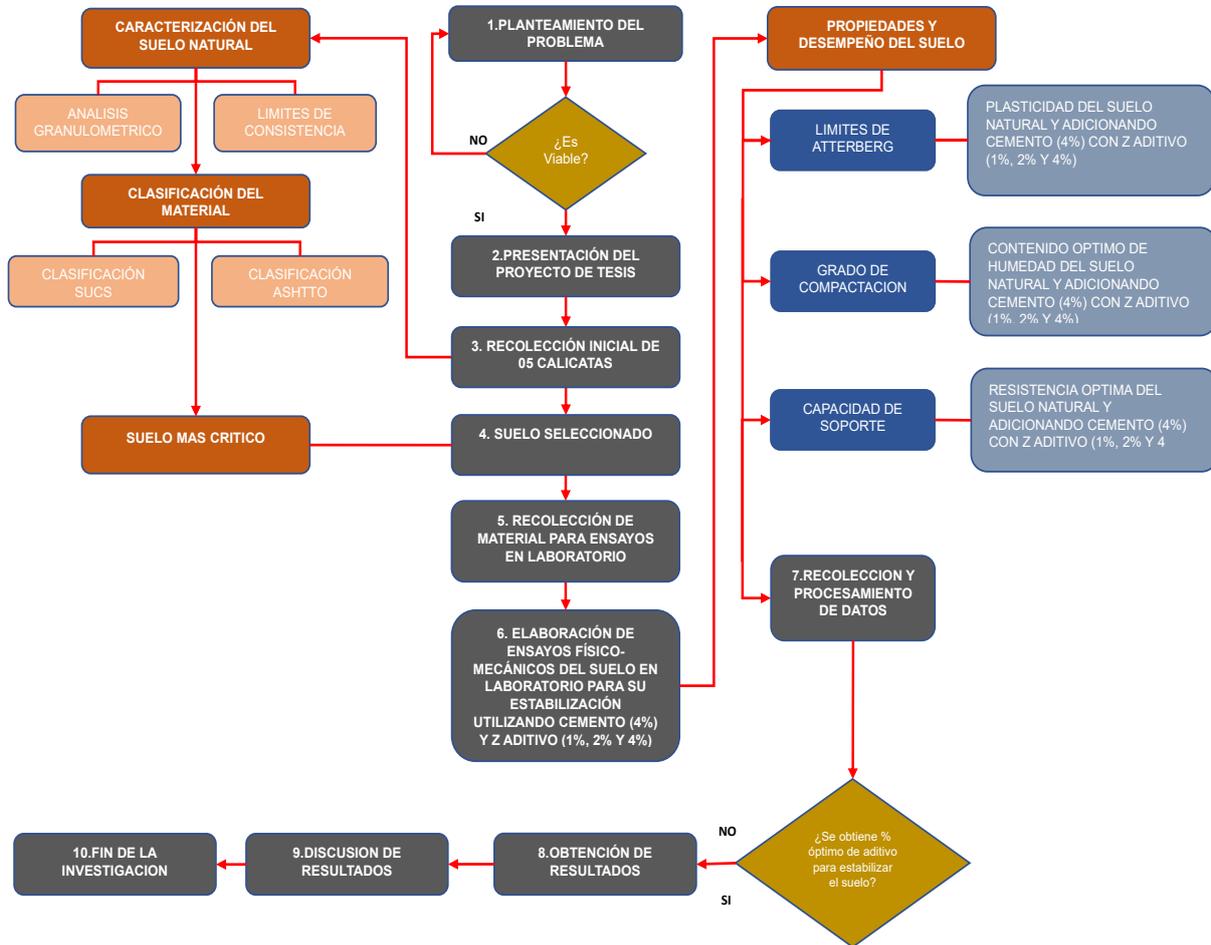
Variable independiente: Es la que refleja los resultados de un estudio de investigación, es aquella que va a variar en un experimento y ser modificada por la variable independiente. (Becerra. Métodos de investigación. 2014).

Nuestra presente investigación será de carácter experimental, dado que manipularemos las variables independientes y las unidades serán seleccionadas de manera conveniente.



### 3.2.2. Diseño de Ingeniería

Figura 15. Diagrama de flujo del Diseño de Investigación.



Fuente: Elaboración propia.



### 3.3. Población y Muestra

#### 3.3.1. Población

##### 3.3.1.1. Descripción de la población

Una población está conformada por un conjunto de elementos que pertenecen a un grupo de estudio y por tanto se refiere a todos los elementos que pueden ser considerados por separado en dicho estudio. (Ramírez, 2005).

La población de la presente investigación está conformada por el suelo extraído mediante calicatas en una longitud de 1km de la prolongación José Carlos Mariátegui–Alto Qosqo, para su clasificación y evaluación de propiedades, situado en el distrito de San Sebastián, provincia y departamento del Cusco.

##### 3.3.1.2. Cuantificación de la población

La población cuantificada de nuestra presente investigación se considera como el suelo obtenido de las 5 calicatas realizadas en la prolongación José Carlos Mariátegui– Alto Qosqo:

- Suelo de la calicata C-1; Progresiva. 0+000
- Suelo de la calicata C-2; Progresiva. 0+250
- Suelo de la calicata C-3; Progresiva. 0+500
- Suelo de la calicata C-4; Progresiva. 0+750
- Suelo de la calicata C-5; Progresiva. 1+000.

**Figura 16.** Ensayos de Granulometría y Limites de Consistencia en Calicatas.

| ENSAYOS         | NORMAS    | SUELO NATURAL, CALICATAS<br>(C-1, C-2, C-3, C-4, C-5) | N° TOTAL DE<br>ENSAYOS |
|-----------------|-----------|---|------------------------|
| GRANULOMETRIA   | MTC E-107 | 5   | 5                      |
| LIMITE LIQUIDO  | MTC E-110 | 5   | 5                      |
| LIMITE PLASTICO | MTC E-111 | 5   | 5                      |
| <b>TOTAL</b>    |           | 15  | 15                     |

*Fuente: Elaboración propia.*

Se realizaron los ensayos de Granulometría y Limites de consistencia en la población para clasificar el suelo y obtener sus características y propiedades así poder determinar el suelo con peores características y más crítico.



### 3.3.2. Muestra

#### 3.3.2.1. Descripción de la muestra

Una muestra consiste en un grupo reducido de elementos de dicha población para los cuales se estudian características específicas, casi siempre con el objetivo de inferir esas características a toda la población. (Ramírez, 2005).

La muestra de nuestra presente investigación está compuesta al igual que la población por el suelo de las cinco calicatas, tal y como señala el Manual de Carretas sección suelos y pavimentos en el apartado de número de calicatas para exploración de suelo, nos indica realizar las calicatas cada 250 metros por lo que corresponde realizar 5 calicatas en una longitud de 1km, de las cuales luego de hacer la clasificación, la que presento el suelo más desfavorable y más crítico fue la (Calicata C-5), en la cual se realizaron los demás ensayos de Proctor Modificado y CBR.

#### 3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

La muestra será evaluada mediante la realización de ensayos en laboratorio sin aditivo, con la adición de Cemento portland tipo IP más la adición del Estabilizador Z, buscando estabilizar el suelo de subrasante, esperando obtener mejoras en sus propiedades, desempeño y comportamiento, los ensayos realizados están medidos de la siguiente manera:

**Tabla 8.** Resumen de la cuantificación de ensayos realizados en la muestra.

| ENSAYOS                    | NORMAS    | TIPO DE ESTABILIZANTE |                         |   | N° TOTAL DE ENSAYOS |
|----------------------------|-----------|-----------------------|-------------------------|---|---------------------|
|                            |           | SUELO NATURAL         | ADICION DE CEMENTO (4%) | ADICION DE CEMENTO (4%) + ESTABILIZADOR Z (1%, 2% y 4%) |                     |
| GRANULOMETRIA              | MTC E-107 | 5                     | -                       | -   | 5                   |
| LIMITE LIQUIDO             | MTC E-110 | 5                     | 1                       | 3   | 9                   |
| LIMITE PLASTICO            | MTC E-111 | 5                     | 1                       | 3   | 9                   |
| PROCTOR MODIFICADO         | MTC E-115 | 1                     | 1                       | 3   | 5                   |
| CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) | MTC E-132 | 1                     | 1                       | 3   | 5                   |
| <b>TOTAL</b>               |           | <b>17</b>             | <b>4</b>                | <b>12</b>   | <b>33</b>           |

*Fuente: Elaboración propia.*



### **3.3.2.3. Método de muestreo**

El método de muestreo usado para la muestra es no probabilístico, debido a que nuestras muestras fueron tomadas por conveniencia del investigador, en la prolongación José Carlos Mariátegui– Alto Qosqo, siguiendo los parámetros indicados en la norma MTC-14 Suelos y pavimentos.

### **3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra**

Para la correcta realización de los ensayos y el estudio, es requisito que las muestras cumplan con los siguientes criterios:

- El cemento utilizado como estabilizador de suelos debe cumplir con los estándares de calidad reglamentarios para lograr resultados confiables y de calidad.
- El estabilizador Z debe cumplir con todos los estándares de calidad establecidos en los reglamentos aplicables, para lograr resultados de prueba favorables.
- La preparación del suelo y especímenes para la realización de los ensayos, deben de procederse de tal forma que se realicen dentro de los parámetros y estándares de calidad que están establecidos en los manuales y normas vigentes para el estudio de suelos, de tal manera lograr así resultados precisos y veraces.
- Los ensayos realizados no deben tener alguna deficiencia en su preparación, elaboración, medición, ni ampliaciones en los tiempos de realización.

### **3.3.3. Criterios de Inclusión**

- Nuestra muestra debe pertenecer al suelo de la prolongación José Carlos Mariátegui–Alto Qosqo -Distrito de San Sebastián – Cusco.
- La muestra de suelo pertenece a la calicata que presenta el suelo más crítico después de su clasificación en laboratorio.
- La muestra seguirá la siguiente dosificación: Adición de Cemento (4%), Adición de Cemento (4%) + Estabilizador Z (1%, 2%, 4%).
- La muestra se someterá a los ensayos de: Granulometría, Límites de Consistencia, Proctor Modificado, Capacidad de Soporte CBR.
- Los especímenes son elaborados con agua potable brindada por SEDACUSCO.



### 3.4. Instrumentos

#### 3.4.1. Instrumentos de recolección de datos

##### 3.4.4.1. Formato N°01 – Ensayo de Granulometría

**Tabla 9.** Formato de recolección de datos para el ensayo de granulometría.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |   |  |                   |            |                      |            |
|---|---|---|-------------------|------------|----------------------|------------|
| ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR TAMIZADO  |   |   |                   |            |                      |            |
| TESIS   | 'INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2023". |   |                   |            |                      |            |
| ENSAYO  | GRANULOMETRIA   |   |                   |            |                      |            |
| REFERENCIA  | MTC E 107 - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO  |   |                   |            |                      |            |
| MUESTRA   |   |   |                   |            |                      |            |
| FECHA   |   |   |                   |            |                      |            |
| LUGAR   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |   |                   |            |                      |            |
| TESISTAS  | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |   |                   |            |                      |            |
| Malla N°  | Abertura en (mm)  | Peso Retenido   | Compensación (gr) | % Retenido | % Retenido Acumulado | % Que pasa |
| 3/4"  |   |   |                   |            |                      |            |
| 3/8"  |   |   |                   |            |                      |            |
| N°4   |   |   |                   |            |                      |            |
| N°10  |   |   |                   |            |                      |            |
| N°40  |   |   |                   |            |                      |            |
| N°60  |   |   |                   |            |                      |            |
| N°200   |   |   |                   |            |                      |            |
| FONDO   |   |   |                   |            |                      |            |
| TOTAL=  |   |   |                   |            |                      |            |
| Peso Seco Inicial   |   | Peso Seco Lavado  |                   | W-Wo       |                      |            |
|   |   |   |                   |            |                      |            |
| N° Tamices  |   |   |                   |            |                      |            |
| Po - Pf   |   |   |                   |            |                      |            |
| Compensación  |   |   |                   |            |                      |            |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**3.4.4.2. Formato N°03 – Límites de Consistencia.**

**Tabla 10.** Formato de recolección de datos para los ensayos de Límite Líquido y Límite Plástico.

|   |   |   |
|---|---|---|
|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |   |  |
| <b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>  |   |   |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2023. |   |
| <b>ENSAYO</b>   | LIMITE LIQUIDO/LIMITE PLASTICO  |   |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 110 - DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 111 DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)  |   |
| <b>MUESTRA</b>  |   |   |
| <b>FECHA</b>  |   |   |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |   |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |   |
| <b>LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318/AASHTO T-89 / MTC E-110)</b>   |   |   |
| N° TARRO  |   |   |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   |   |   |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   |   |   |
| AGUA (Gr)   |   |   |
| PESO DEL TARRO (Gr)   |   |   |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   |   |   |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |   |
| N° DE GOLPES  |   |   |
| <b>LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318/AASHTO T-90 / MTC E-111)</b>  |   |   |
| N° TARRO  |   |   |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   |   |   |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   |   |   |
| AGUA (Gr)   |   |   |
| PESO DEL TARRO (Gr)   |   |   |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   |   |   |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |   |
| LIMITE PLASTICO (%)   |   |   |
| <b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>   |   |   |
| <b>LIMITE PLASTICO (%)</b>  |   |   |
| <b>INDICE PLASTICO (%)</b>  |   |   |

*Fuente: Elaboración Propia.*





### 3.4.4.6. Formato N°06 – Relación de Soporte de California (CBR).

**Tabla 12.** Formato de recolección de datos para el ensayo de Relación de soporte de California (CBR).

| UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO            |  | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO            |                     |             |
|---|--|---|---------------------|-------------|
| FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA   |  | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA   |                     |             |
| ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |  | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                     |             |
| ENSAYO DE CAPACIDAD DE SOPORTE CBR      |  |   |                     |             |
| TESIS                                   | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2022 |   |                     |             |
| ENSAYO                                  | CAPACIDAD DE SOPORTE CBR   |   |                     |             |
| REFERENCIA                              | MTC E 115 - COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO ENERGIA MODIFICADA  |   |                     |             |
| MUESTRA                                 |  |   |                     |             |
| FECHA                                   |  |   |                     |             |
| LUGAR                                   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |   |                     |             |
| TESISTAS                                | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |   |                     |             |
| DATOS PRELIMINARES                      |  |   |                     |             |
| Datos del Proctor Modificado            |  |   |                     |             |
| Densidad Seca Maxima                    |  | Contenido de Humedad Optimo             |                     | N° de Capas |
| Disco Espaciador                        |  | cm                                      | Diametro del Piston | cm          |
| COMPACTACIÓN                            |  |   |                     |             |
| N° de Molde                             | #  | 1                                       | 2                   | 3           |
| N° de Golpes por Capa                   | #  |   |                     |             |
| Altura del Molde                        | cm   |   |                     |             |
| Diametro del Molde                      | cm   |   |                     |             |
| Volmen de molde                         | cm <sup>3</sup>  |   |                     |             |
| Peso de molde                           | gr   |   |                     |             |
| CONDICION DE LA MUESTRA                 |  | No Saturado                             | No Saturado         | No Saturado |
| Peso molde + Suelo humedo               | gr   |   |                     |             |
| Peso de suelo humedo                    | gr   |   |                     |             |
| Densidad Humeda                         | gr/cm <sup>3</sup>   |   |                     |             |
| Tara N°                                 | N°   | 1                                       | 2                   | 3           |
| Tara + Suelo húmedo                     | gr   |   |                     |             |
| Tara + Suelo seco                       | gr   |   |                     |             |
| Peso de agua                            | gr   |   |                     |             |
| Peso de tara                            | gr   |   |                     |             |
| Peso de suelo seco                      | gr   |   |                     |             |
| % de humedad                            | %  |   |                     |             |
| Densidad Seca                           | gr/cm <sup>3</sup>   |   |                     |             |



| PENETRACIÓN          |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
|----------------------|-------------|--------------|---------------|-----------------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| Penetración          | Molde N° 1  |              |               | Molde N° 2            |              |          | Molde N° 3  |              |          |
|                      | Carga       | Carga        | Esfuerzo      | Carga                 | Carga        | Esfuerzo | Carga       | Carga        | Esfuerzo |
| mm                   | Kn          | Kgf          | kg/cm2        | Kn                    | Kgf          | kg/cm2   | Kn          | Kgf          | kg/cm2   |
| 0                    |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| 0.63                 |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| 1.27                 |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| 1.9                  |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| <b>2.54</b>          |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| 3.17                 |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| 3.81                 |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| <b>5.08</b>          |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| 6.35                 |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| 7.62                 |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| 10.16                |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| 12.7                 |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| CBR CORREGIDO        |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| Penetración (mm)     | Carga       |              | MOLDE         |                       |              |          |             |              |          |
|                      | Patron      |              | Molde 1       |                       | Molde 2      |          | Molde 3     |              |          |
|                      | Kgf/cm2     |              | Kgf/cm2       | %                     | Kgf/cm2      | %        | Kgf/cm2     | %            |          |
| 2.54                 |             | 70.31        |               |                       |              |          |             |              |          |
| 5.08                 |             | 105.46       |               |                       |              |          |             |              |          |
| CBR - Densidad Seca  |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| Numero de Golpes     | 0.1"        | 0.2"         | Densidad Seca | CBR al 100% de la MDS |              | %        |             |              |          |
| 12                   |             |              |               | CBR al 95% de la MDS  |              | %        |             |              | 0.1"     |
| 25                   |             |              |               | CBR al 100% de la MDS |              | %        |             |              | 0.2"     |
| 56                   |             |              |               | CBR al 95% de la MDS  |              | %        |             |              |          |
| Densidad Seca Maxima |             |              | gr/cm3        |                       |              |          |             |              |          |
| EXPANSION            |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| Tiempo Hr.           | Molde N° 01 |              |               | Molde N° 02           |              |          | Molde N° 03 |              |          |
|                      | Dial *0.001 | Hinchamiento |               | Dial *0.001           | Hinchamiento |          | Dial *0.001 | Hinchamiento |          |
|                      |             | mm           | %             |                       | mm           | %        |             | mm           | %        |
| 0                    |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| 24                   |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| 48                   |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| 72                   |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |
| 96                   |             |              |               |                       |              |          |             |              |          |

*Fuente: Elaboración Propia.*

### 3.4.2. Instrumentos de Ingeniería

Los instrumentos de ingeniería que fueron utilizados en la presente investigación son todos aquellos equipos, herramientas que se utilizan para realizar correctamente todas la pruebas y ensayos pertinentes para el estudio de suelos.

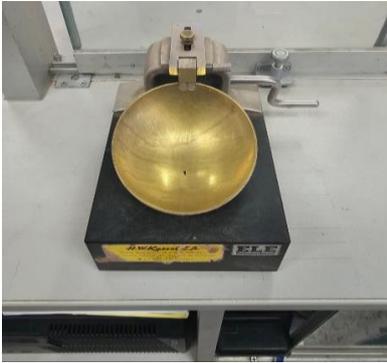


Figura 17. Instrumentos de ingeniería para el ensayo de Granulometría.

| INSTRUMENTOS DE INGENIERIA PARA EL ENSAYO DE GRANULOMETRIA                         |  |  |
|--|--|--|
| EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS  |  |  |
|   |   |   |
| Maquina Tamizadora   | Juego de Tamices   | Balanza de Precision   |
|  |  |  |
| Horno de Secado  | Brochas  | Bowls metalicos  |

*Fuente: Elaboración Propia.*

Figura 18. Instrumentos de ingeniería para el ensayo de Límites de Consistencia.

| INSTRUMENTOS DE INGENIERIA PARA EL ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA                |   |  |
|---|---|--|
| EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS   |   |  |
|    |    |    |
| Copa de Casagrande  | Taras metalicas   | Bowls metalicos  |
|   |   |   |
| Tamiz N°40  | Recipiente para mezcla  | Vidrio Esmerilado  |
|  |  |  |
| Bandejas Metalicas  | Horno de Secado   | Balanza de precision 0.1gr   |
|  |  |  |
| Ranurador   | Guantes de proteccion   | Espatulas metalicas  |

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 19. Instrumentos de ingeniería para el ensayo de Proctor modificado.

| INSTRUMENTOS DE INGENIERIA PARA EL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO                     |   |  |
|---|---|--|
| EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS   |   |  |
|    |    |    |
| Molde para compactacion Proctor 4''   | Martillo Compactador  | Tamiz N°4  |
|   |   |   |
| Balanza de precision  | Vernier   | Mazo de Goma   |
|  |  |  |
| Enrasador metalico  | Regla metalica  | Probetas   |
|  |  |  |
| Bowls Metalicos   | Bandejas Metalicas  | Horno de Secado  |

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 20. Instrumentos de ingeniería para el ensayo de Capacidad de Soporte (CBR)

| INSTRUMENTOS DE INGENIERIA PARA EL ENSAYO DE CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) |                                 |                                  |
|---|---------------------------------|----------------------------------|
| EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS                                       |                                 |                                  |
|   |                                 |                                  |
| Maquina semiautomática para ensayos CBR                                 | Molde para compactación 6'' CBR | Martillo Compactador             |
|   |                                 |                                  |
| Pesas y vástago para el molde CBR 6''                                   | Vernier                         | Tripode de Expansión             |
|   |                                 |                                  |
| Probetas  | Enrasador metálico              | Recipientes para sumergir moldes |
|   |                                 |                                  |
| Bandejas Metálicas  | Bowls Metálicos                 | Horno de Secado                  |
|   |                                 |                                  |
| Eyector de muestras   | Balanza Kg.                     | Nivel de ingeniero               |

Fuente: Elaboración Propia.



### 3.5. Procedimiento de Recolección de Datos

Se evaluó la zona de estudio en la cual se realizarán los trabajos para definir los puntos de extracción de 5 calicatas para la investigación correspondiente.

Nuestras muestras fueron transportadas al laboratorio de la Universidad Andina del Cusco, las cuales fueron analizadas, evaluadas y comparadas con la adición de Cemento y Estabilizador Z.

#### 3.5.1. Ensayo de Granulometría

MTC E-107, NTP 339.128, ASTM D-422, indican lo siguiente:

##### a) Equipos, materiales utilizados en la prueba

- Balanza con precisión de 0.01 g.
- Juego de tamices o mallas (1 ½", 1", ¾", 3/8", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°140 y N°200).
- Horno de secado con temperaturas constantes de 110±5°C.
- Máquina Tamizadora.
- Bandejas metálicas.
- Cepillo y brochas.
- Equipo misceláneo.

##### b) Procedimiento del ensayo

Se realiza la preparación de la muestra de aproximadamente 8000.00 gramos para las 05 calicatas a estudiar, haciendo uso del método de cuarteo manual, se coloca una porción de suelo en una superficie dura y lisa distribuyendo dicha muestra de extremo a extremo de manera que se mantenga uniforme y mezclando hasta obtener una pila en forma de cono, posterior se procede a aplanar y dividir en 04 partes quedándonos con las 02 partes más homogéneas repitiendo el proceso hasta 4 veces aproximadamente quedándonos con 2000.00 gramos de porción de suelo.



**Figura 21.** Preparación de muestra de aproximadamente 2000.00 gr. para ensayo granulométrico a través del método del cuarteo manual.



*Fuente: Elaboración Propia.*

Se procede a realizar el lavado manual de la muestra cuarteada utilizando la malla N° 200 con sumo cuidado hasta que el agua que pase sea transparente de tal forma que no se pierda mucho del suelo seleccionado; Posterior será llevado al horno de secado por 24 horas a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .

**Figura 22.** Lavado del material cuarteado usando la malla N° 200 y llevado al horno para un secado de 24 horas.

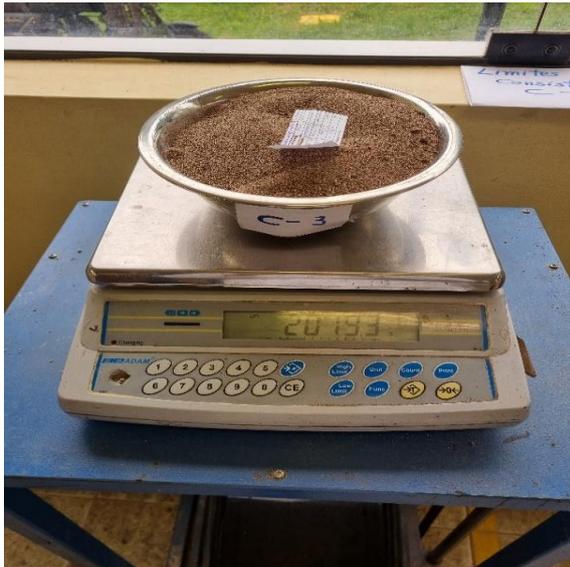


*Fuente: Elaboración Propia.*



Una vez que hayan transcurrido las 24 horas en el horno se retira el suelo seco, se pesa y se procede a llevar a la tamizadora usando los tamices correspondientes durante un tiempo de 05 minutos aproximadamente de tal manera que todo el suelo quede retenido por cada malla de forma adecuada, terminado el proceso se toma el peso retenido en cada tamiz en la balanza de precisión de 0.01 gr. Los datos obtenidos se usarán para poder dibujar la curva granulométrica correspondiente.

**Figura 23.** Muestra seca retirada del horno y pesada en la balanza de precisión de 0.01 gr



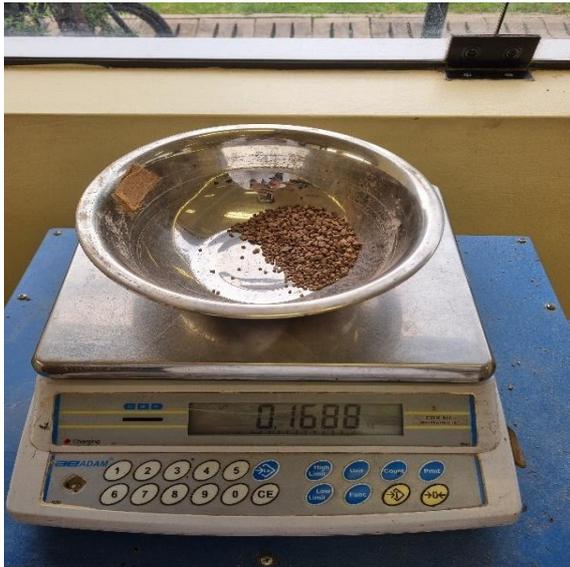
*Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura 24.** Muestra de suelo distribuida y retenida por cada tamiz.



*Fuente: Elaboración Propia.*

Figura 25. Pesos retenidos por cada tamiz.



Fuente: Elaboración Propia.

### 3.5.1.1. Toma de datos

Tabla 13. Recolección de datos del ensayo de Granulometría, Calicata C-1.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |   |  |                   |            |                      |            |
|---|---|---|-------------------|------------|----------------------|------------|
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR TAMIZADO</b>   |   |   |                   |            |                      |            |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECANICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2023 |   |                   |            |                      |            |
| <b>ENSAYO</b>   | GRANULOMETRIA   |   |                   |            |                      |            |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 107 ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO  |   |                   |            |                      |            |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-1  |   |                   |            |                      |            |
| <b>FECHA</b>  | 22/03/2023  |   |                   |            |                      |            |
| <b>LUGAR</b>  | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |   |                   |            |                      |            |
| <b>RESPONSABLES</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |   |                   |            |                      |            |
| Malla N°  | Abertura en (mm)  | Peso Retenido (gr)  | Compensación (gr) | % Retenido | % Retenido Acumulado | % Que pasa |
| 3/4"  | 19.000  | 20.70   |                   |            |                      |            |
| 3/8"  | 9.500   | 33.20   |                   |            |                      |            |
| N°4   | 4.760   | 60.50   |                   |            |                      |            |
| N°10  | 2.000   | 60.60   |                   |            |                      |            |
| N°40  | 0.425   | 124.20  |                   |            |                      |            |
| N°60  | 0.260   | 84.90   |                   |            |                      |            |
| N°200   | 0.075   | 219.70  |                   |            |                      |            |

Fuente: Elaboración Propia.



**Tabla 14.** Recolección de datos del ensayo de Granulometría, Calicata C-2.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  |  |                    |                   |            |                      |            |
|---|--|--------------------|-------------------|------------|----------------------|------------|
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR TAMIZADO</b>   |  |                    |                   |            |                      |            |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECHANICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2023 |                    |                   |            |                      |            |
| <b>ENSAYO</b>   | GRANULOMETRIA  |                    |                   |            |                      |            |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 107 ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO   |                    |                   |            |                      |            |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-2   |                    |                   |            |                      |            |
| <b>FECHA</b>  | 22/03/2023   |                    |                   |            |                      |            |
| <b>LUGAR</b>  | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                    |                   |            |                      |            |
| <b>RESPONSABLES</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |                    |                   |            |                      |            |
| Malla N°  | Abertura en (mm)   | Peso Retenido (gr) | Compensación (gr) | % Retenido | % Retenido Acumulado | % Que pasa |
| 3/4"  | 19.000   | 0.00               |                   |            |                      |            |
| 3/8"  | 9.500  | 28.80              |                   |            |                      |            |
| N°4   | 4.760  | 19.90              |                   |            |                      |            |
| N°10  | 2.000  | 62.40              |                   |            |                      |            |
| N°40  | 0.425  | 143.50             |                   |            |                      |            |
| N°60  | 0.260  | 132.30             |                   |            |                      |            |
| N°200   | 0.075  | 366.50             |                   |            |                      |            |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 15.** Recolección de datos del ensayo de Granulometría, Calicata C-3.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  |  |                    |                   |            |                      |            |
|---|--|--------------------|-------------------|------------|----------------------|------------|
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR TAMIZADO</b>   |  |                    |                   |            |                      |            |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECHANICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2023 |                    |                   |            |                      |            |
| <b>ENSAYO</b>   | GRANULOMETRIA  |                    |                   |            |                      |            |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 107 ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO   |                    |                   |            |                      |            |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-3   |                    |                   |            |                      |            |
| <b>FECHA</b>  | 22/03/2023   |                    |                   |            |                      |            |
| <b>LUGAR</b>  | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                    |                   |            |                      |            |
| <b>RESPONSABLES</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |                    |                   |            |                      |            |
| Malla N°  | Abertura en (mm)   | Peso Retenido (gr) | Compensación (gr) | % Retenido | % Retenido Acumulado | % Que pasa |
| 3/4"  | 19.000   | 0.00               |                   |            |                      |            |
| 3/8"  | 9.500  | 0.10               |                   |            |                      |            |
| N°4   | 4.760  | 0.50               |                   |            |                      |            |
| N°10  | 2.000  | 4.20               |                   |            |                      |            |
| N°40  | 0.425  | 450.50             |                   |            |                      |            |
| N°60  | 0.260  | 719.20             |                   |            |                      |            |
| N°200   | 0.075  | 496.60             |                   |            |                      |            |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 16.** Recolección de datos del ensayo de Granulometría, Calicata C-4.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  |  |                    |                   |            |                      |            |
|---|--|--------------------|-------------------|------------|----------------------|------------|
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR TAMIZADO</b>   |  |                    |                   |            |                      |            |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2023 |                    |                   |            |                      |            |
| <b>ENSAYO</b>   | GRANULOMETRIA  |                    |                   |            |                      |            |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 107 ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO   |                    |                   |            |                      |            |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-4   |                    |                   |            |                      |            |
| <b>FECHA</b>  | 22/03/2023   |                    |                   |            |                      |            |
| <b>LUGAR</b>  | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                    |                   |            |                      |            |
| <b>RESPONSABLES</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |                    |                   |            |                      |            |
| Malla N°  | Abertura en (mm)   | Peso Retenido (gr) | Compensación (gr) | % Retenido | % Retenido Acumulado | % Que pasa |
| 3/4"  | 19.000   | 0.00               |                   |            |                      |            |
| 3/8"  | 9.500  | 0.40               |                   |            |                      |            |
| N°4   | 4.760  | 6.20               |                   |            |                      |            |
| N°10  | 2.000  | 8.90               |                   |            |                      |            |
| N°40  | 0.425  | 78.60              |                   |            |                      |            |
| N°60  | 0.260  | 173.40             |                   |            |                      |            |
| N°200   | 0.075  | 694.20             |                   |            |                      |            |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 17.** Recolección de datos del ensayo de Granulometría, Calicata C-5.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  |  |                    |                   |            |                      |            |
|---|--|--------------------|-------------------|------------|----------------------|------------|
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR TAMIZADO</b>   |  |                    |                   |            |                      |            |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2023 |                    |                   |            |                      |            |
| <b>ENSAYO</b>   | GRANULOMETRIA  |                    |                   |            |                      |            |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 107 ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO   |                    |                   |            |                      |            |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-4   |                    |                   |            |                      |            |
| <b>FECHA</b>  | 22/03/2023   |                    |                   |            |                      |            |
| <b>LUGAR</b>  | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                    |                   |            |                      |            |
| <b>RESPONSABLES</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |                    |                   |            |                      |            |
| Malla N°  | Abertura en (mm)   | Peso Retenido (gr) | Compensación (gr) | % Retenido | % Retenido Acumulado | % Que pasa |
| 3/4"  | 19.000   | 0.00               |                   |            |                      |            |
| 3/8"  | 9.500  | 92.20              |                   |            |                      |            |
| N°4   | 4.760  | 159.50             |                   |            |                      |            |
| N°10  | 2.000  | 81.30              |                   |            |                      |            |
| N°40  | 0.425  | 44.90              |                   |            |                      |            |
| N°60  | 0.260  | 22.40              |                   |            |                      |            |
| N°200   | 0.075  | 125.00             |                   |            |                      |            |

*Fuente: Elaboración Propia.*

### 3.5.2. Ensayo de Límites de consistencia.

Las normas MTC E-110, NTP 339.129, AASHTO T89–T90, indican lo siguiente:

#### 3.5.2.1. Ensayo de Límite Líquido

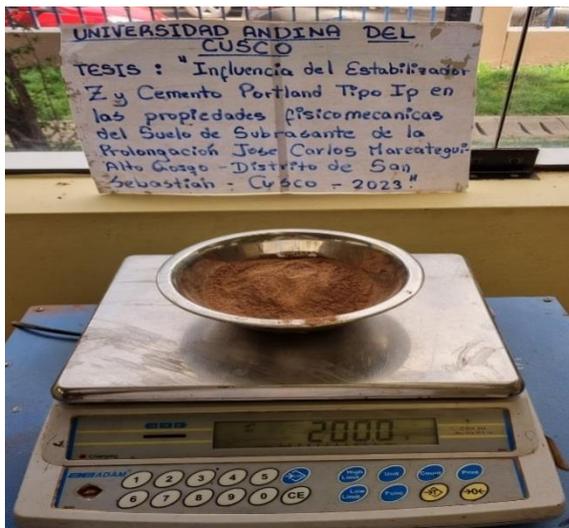
##### a) Equipos, materiales utilizados en la prueba

- Aparato de Casagrande.
- Tamiz o malla (N° 40).
- Acanalador.
- Recipientes o Taras metálicas.
- Balanza con precisión de 0,01 g.
- Horno de secado que pueda mantener temperaturas de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .
- Espátula, de hoja flexible de 3" - 4" de largo y 3/4" de ancho aproximadamente.
- Agua destilada o agua potable, para humectar la muestra.

##### b) Procedimiento del ensayo

Haciendo uso del método multipunto, se realiza la preparación de una porción de suelo aproximadamente 200gr. pasante por la malla N° 40 con humedad controlada, la cual tendrá que tener una consistencia homogénea y pastosa.

**Figura 26.** Preparación de suelo de aproximadamente 200gr. hasta lograr una mezcla pastosa y homogénea.



*Fuente: Elaboración Propia.*



Se coloca una porción del suelo preparado, en la copa de Casagrande, presionándolo y esparciéndolo en la copa, con un espesor aproximado de 10mm, formando en su copa una superficie nivelada y horizontal.

Se secciona la muestra en la copa haciendo uso del ranurador siguiendo una línea de abajo hacia arriba a través del suelo; manteniendo la presión constante al realizar la división.

**Figura 27.** Calibración de copa, colocación de suelo y acanalado.



*Fuente: Elaboración Propia.*

Luego se gira el manubrio de la copa de Casagrande a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta lograr que las dos porciones de suelo se junten en  $\frac{1}{2}$ ". Se anota el número necesario de golpes que se tomó para cerrar dicha ranura. Se toma una porción de muestra de suelo y se coloca en un recipiente o tara de peso conocido y se lleva a la balanza de precisión para medir su peso.

Se mezcla nuevamente la muestra preparada incrementando agua para elevar su contenido de humedad y disminuir progresivamente la cantidad de golpes necesarios para cerrar la ranura.

**Figura 28.** Obtención de muestra para limite líquido y pesaje respectivo.



*Fuente: Elaboración Propia.*

Por recomendación se realizaron 4 pruebas, 2 por encima de los 25 golpes y 2 por debajo para tener un rango de valores mayor. Los pesos se determinan inmediatamente terminado el ensayo.

**Figura 29.** Respectivo etiquetado y colocado al horno de secado para determinar su contenido de humedad.



*Fuente: Elaboración Propia.*



### 3.5.2.2. Ensayo de Límite Plástico

#### a) Equipos, materiales utilizados en la prueba

- Espátula, de hoja flexible de 3" - 4" de largo y 3/4" de ancho aproximadamente.
- Recipiente de porcelana o similares, cuya medida es de 4 1/2" de diámetro.
- Balanza de precisión, con sensibilidad de 0,01 gr.
- Horno de secado, con temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C.
- Tamiz o malla (N° 40).
- Agua destilada o agua potable, para humectar la muestra.
- Vidrio esmerilado, que sirve de superficie de rodadura.

#### b) Procedimiento del ensayo

Escogemos aproximadamente 20 gramos de la muestra utilizada en límite líquido y procedemos a moldear en forma de elipsoide, luego rodamos la muestra con los dedos sobre una superficie lisa, permitiendo que pierda humedad, formando cilindros sobre la placa de vidrio esmerilado. Si antes de llegar dicho cilindro a un diámetro de unos 3,2 mm (1/8") no se ha desmoronado o partido, se vuelve a repetir el proceso, hasta obtener el desmoronamiento en el diámetro indicado.

**Figura 30.** Preparación de la muestra para el enrollado con los dedos de mano formando cilindros.



*Fuente: Elaboración Propia.*



La porción seleccionada se sitúa en taras metálicas con un peso conocido, se reúne aproximadamente 6 gramos de suelo y se determina la humedad.

**Figura 31.** Peso de tara y muestra de suelo para determinar contenido de humedad.



*Fuente: Elaboración Propia.*



### 3.5.2.3.Toma de datos

**Tabla 18.** Recolección de datos del ensayo de Límites de Consistencia (L. Líquido y L. plástico), Calicata C-1.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |   |         |         |         |  |
|---|---|---------|---------|---------|--|
| <b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>  |   |         |         |         |  |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022. |         |         |         |  |
| <b>ENSAYO</b>   | LIMITE LIQUIDO/LIMITE PLASTICO  |         |         |         |  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 110 - DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 111 DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)  |         |         |         |  |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-1  |         |         |         |  |
| <b>FECHA</b>  | 22/03/2023  |         |         |         |  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |         |         |         |  |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |         |         |         |  |
| <b>LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318/AASHTO T-89 / MTC E-110)</b>   |   |         |         |         |  |
| N° TARRO  | LL-C1-1   | LL-C1-2 | LL-C1-3 |         |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 34.4  | 32.7    | 31      |         |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 29.25   | 27.75   | 26.35   |         |  |
| AGUA (Gr)   | 5.15  | 4.95    | 4.65    |         |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 11.5  | 11.5    | 11.5    |         |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 17.75   | 16.25   | 14.85   |         |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |         |         |         |  |
| N° DE GOLPES  | 31  | 25      | 22      |         |  |
| <b>LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318/AASHTO T-90 / MTC E-111)</b>  |   |         |         |         |  |
| N° TARRO  | LP-C1-1   | LP-C1-2 | LP-C1-3 | LP-C1-4 |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 12.60   | 13.20   | 13.30   | 13.20   |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 12.40   | 12.90   | 13.00   | 12.90   |  |
| AGUA (Gr)   | 0.20  | 0.30    | 0.30    | 0.30    |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 11.40   | 11.40   | 11.40   | 11.40   |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 1.00  | 1.50    | 1.60    | 1.50    |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |         |         |         |  |
| LIMITE PLASTICO (%)   |   |         |         |         |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 19.** Recolección de datos del ensayo de Límites de Consistencia (L. Líquido y L. plástico), Calicata C-2.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |   |         |         |         |  |
|---|---|---------|---------|---------|--|
| <b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>  |   |         |         |         |  |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022. |         |         |         |  |
| <b>ENSAYO</b>   | LIMITE LIQUIDO/LIMITE PLASTICO  |         |         |         |  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 110 - DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 111 DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)  |         |         |         |  |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-2  |         |         |         |  |
| <b>FECHA</b>  | 22/03/2023  |         |         |         |  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |         |         |         |  |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |         |         |         |  |
| <b>LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318/AASHTO T-89 / MTC E-110)</b>   |   |         |         |         |  |
| N° TARRO  | LL-C2-1   | LL-C2-2 | LL-C2-3 |         |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 30.2  | 29.6    | 28      |         |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 25.8  | 25.25   | 23.9    |         |  |
| AGUA (Gr)   | 4.4   | 4.35    | 4.1     |         |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 11.4  | 11.4    | 11.3    |         |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 14.4  | 13.85   | 12.6    |         |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |         |         |         |  |
| N° DE GOLPES  | 30  | 26      | 22      |         |  |
| <b>LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318/AASHTO T-90 / MTC E-111)</b>  |   |         |         |         |  |
| N° TARRO  | LP-C2-1   | LP-C2-2 | LP-C2-3 | LP-C2-4 |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 13.00   | 12.90   | 12.90   | 13.20   |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 12.70   | 12.60   | 12.65   | 12.95   |  |
| AGUA (Gr)   | 0.30  | 0.30    | 0.25    | 0.25    |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 11.40   | 11.40   | 11.40   | 11.40   |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 1.30  | 1.20    | 1.25    | 1.55    |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |         |         |         |  |
| LIMITE PLASTICO (%)   |   |         |         |         |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 20.** Recolección de datos del ensayo de Límites de Consistencia (L. Líquido y L. plástico), Calicata C-5.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |   |         |         |         |  |
|---|---|---------|---------|---------|--|
| LIMITES DE CONSISTENCIA   |   |         |         |         |  |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022. |         |         |         |  |
| <b>ENSAYO</b>   | LIMITE LIQUIDO/LIMITE PLASTICO  |         |         |         |  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 110 - DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 111 DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)  |         |         |         |  |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-5  |         |         |         |  |
| <b>FECHA</b>  | 22/03/2023  |         |         |         |  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |         |         |         |  |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |         |         |         |  |
| LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318/AASHTO T-89 / MTC E-110)  |   |         |         |         |  |
| N° TARRO  | LL-C5-1   | LL-C5-2 | LL-C5-3 | LL-C5-4 |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 52.11   | 50.14   | 54.36   | 51.82   |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 47.34   | 45.65   | 49.18   | 47.27   |  |
| AGUA (Gr)   | 4.77  | 4.49    | 5.18    | 4.55    |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 31.61   | 30.69   | 31.55   | 31.53   |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 15.73   | 14.96   | 17.63   | 15.74   |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |         |         |         |  |
| N° DE GOLPES  | 16  | 20      | 25      | 30      |  |
| LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318/AASHTO T-90 / MTC E-111)   |   |         |         |         |  |
| N° TARRO  | LP-C5-1   | LP-C5-2 | LP-C5-3 | LP-C5-4 |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 13.68   | 12.58   | 30.85   | 33.23   |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 13.39   | 12.33   | 30.57   | 32.96   |  |
| AGUA (Gr)   | 0.29  | 0.25    | 0.28    | 0.27    |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 12.07   | 11.24   | 29.22   | 31.69   |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 1.32  | 1.09    | 1.35    | 1.27    |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |         |         |         |  |
| LIMITE PLASTICO (%)   |   |         |         |         |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 21.** Recolección de datos del ensayo de Límites de Consistencia (L. Líquido y L. plástico), C-5 + 4% de Cemento Portland IP.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |   |        |        |        |  |
|---|---|--------|--------|--------|--|
| <b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>  |   |        |        |        |  |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022. |        |        |        |  |
| <b>ENSAYO</b>   | LIMITE LIQUIDO/LIMITE PLASTICO  |        |        |        |  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 110 - DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 111 DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)  |        |        |        |  |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-5 + 4% CEMENTO PORTLAND IP   |        |        |        |  |
| <b>FECHA</b>  | 21/04/2023  |        |        |        |  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |        |        |        |  |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |        |        |        |  |
| <b>LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318/AASHTO T-89 / MTC E-110)</b>   |   |        |        |        |  |
| N° TARRO  | C-4-1   | C-4-2  | C-4-3  | C-4-4  |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 51.95   | 32.08  | 51.13  | 51.41  |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 46.71   | 27.1   | 46.34  | 46.64  |  |
| AGUA (Gr)   | 5.24  | 4.98   | 4.79   | 4.77   |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 30.72   | 11.25  | 30.76  | 31.1   |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 15.99   | 15.85  | 15.58  | 15.54  |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |        |        |        |  |
| N° DE GOLPES  | 15  | 22     | 27     | 29     |  |
| <b>LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318/AASHTO T-90 / MTC E-111)</b>  |   |        |        |        |  |
| N° TARRO  | CP-4-1  | CP-4-2 | CP-4-3 | CP-4-4 |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 32.45   | 32.86  | 32.42  | 33.38  |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 32.19   | 32.58  | 32.14  | 33.09  |  |
| AGUA (Gr)   | 0.26  | 0.28   | 0.28   | 0.29   |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 31.08   | 31.32  | 30.90  | 31.87  |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 1.11  | 1.26   | 1.24   | 1.22   |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |        |        |        |  |
| LIMITE PLASTICO (%)   |   |        |        |        |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 22.** Recolección de datos del ensayo de Límites de Consistencia (L. Líquido y L. plástico), C-5 + 4% de Cemento Portland Tipo IP + 1% Estabilizador Z.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |   |
|---|---|
| <b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>  |   |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022. |
| <b>ENSAYO</b>   | LIMITE LIQUIDO/LIMITE PLASTICO  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 110 - DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 111 DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)  |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-5 + 4% CEMENTO + 1% ESTABILIZADOR Z  |
| <b>FECHA</b>  | 21/04/2023  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |
| <b>LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318/AASHTO T-89 / MTC E-110)</b>   |   |
| N° TARRO  | C-1-1      C-1-2      C-1-3      C-1-4  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 32.2      32.21      51.42      53.33   |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 27.03      27.23      46.56      48.17  |
| AGUA (Gr)   | 5.17      4.98      4.86      5.16  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 11.35      11.37      30.65      31.2   |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 15.68      15.86      15.91      16.97  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |
| N° DE GOLPES  | 15      23      27      29  |
| <b>LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318/AASHTO T-90 / MTC E-111)</b>  |   |
| N° TARRO  | CP-1-1      CP-1-2      CP-1-3      CP-1-4  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 12.82      13.39      13.07      13.06  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 12.55      13.05      12.77      12.77  |
| AGUA (Gr)   | 0.27      0.34      0.30      0.29  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 11.32      11.59      11.46      11.39  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 1.23      1.46      1.31      1.38  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |
| LIMITE PLASTICO (%)   |   |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 23.** Recolección de datos del ensayo de Límites de Consistencia (L. Líquido y L. plástico), C-5 + 4% de Cemento Portland Tipo IP + 2% Estabilizador Z.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |   |
|---|---|
| <b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>  |   |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022. |
| <b>ENSAYO</b>   | LIMITE LIQUIDO/LIMITE PLASTICO  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 110 - DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 111 DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)  |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-5 + 4% CEMENTO + 2% ESTABILIZADOR Z  |
| <b>FECHA</b>  | 21/04/2023  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |
| <b>LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318/AASHTO T-89 / MTC E-110)</b>   |   |
| N° TARRO  | C-2-1      C-2-2      C-2-3      C-2-4  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 51.56      51.26      53.46      51.67  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 46.25      46.15      47.84      46.56  |
| AGUA (Gr)   | 5.31      5.11      5.62      5.11  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 30.56      31      30.63      30.46   |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 15.69      15.15      17.21      16.1   |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |
| N° DE GOLPES  | 14      19      26      32  |
| <b>LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318/AASHTO T-90 / MTC E-111)</b>  |   |
| N° TARRO  | CP-2-1      CP-2-2      CP-2-3      CP-2-4  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 32.48      31.73      31.88      32.31  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 32.20      31.43      31.58      31.98  |
| AGUA (Gr)   | 0.28      0.30      0.30      0.33  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 30.92      30.17      30.33      30.62  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 1.28      1.26      1.25      1.36  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |
| LIMITE PLASTICO (%)   |   |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 24.** Recolección de datos del ensayo de Límites de Consistencia (L. Líquido y L. plástico), C-5 + 4% de Cemento Portland Tipo IP + 4% Estabilizador Z.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |   |        |        |        |  |
|---|---|--------|--------|--------|--|
| <b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>  |   |        |        |        |  |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022. |        |        |        |  |
| <b>ENSAYO</b>   | LIMITE LIQUIDO/LIMITE PLASTICO  |        |        |        |  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 110 - DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 111 DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)  |        |        |        |  |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-5 + 4% CEMENTO + 4% ESTABILIZADOR Z  |        |        |        |  |
| <b>FECHA</b>  | 21/04/2023  |        |        |        |  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |        |        |        |  |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |        |        |        |  |
| <b>LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318/AASHTO T-89 / MTC E-110)</b>   |   |        |        |        |  |
| N° TARRO  | C-4-1   | C-4-2  | C-4-3  | C-4-4  |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 32.61   | 32.91  | 32.16  | 32.81  |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 27.21   | 27.58  | 27.18  | 27.95  |  |
| AGUA (Gr)   | 5.4   | 5.33   | 4.98   | 4.86   |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 11.46   | 11.38  | 11.31  | 11.46  |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 15.75   | 16.2   | 15.87  | 16.49  |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |        |        |        |  |
| N° DE GOLPES  | 17  | 21     | 26     | 32     |  |
| <b>LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318/AASHTO T-90 / MTC E-111)</b>  |   |        |        |        |  |
| N° TARRO  | CP-4-1  | CP-4-2 | CP-4-3 | CP-4-4 |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 12.95   | 13.02  | 13.05  | 12.64  |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 12.65   | 12.70  | 12.70  | 12.36  |  |
| AGUA (Gr)   | 0.30  | 0.32   | 0.35   | 0.28   |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 11.40   | 11.48  | 11.48  | 11.26  |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 1.25  | 1.22   | 1.22   | 1.10   |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |        |        |        |  |
| LIMITE PLASTICO (%)   |   |        |        |        |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*



### 3.5.3. Ensayo de Proctor modificado

Las normas MTC E 115, NTP339.141, AASHTO T180, indican lo siguiente:

#### a) Equipos, materiales utilizados en la prueba

- Molde de cilindro de 4", que puede variar de  $4 \pm 0,016$ " de diámetro promedio del interior, una altura de  $4,584 \pm 0,018$ ".
- Balanza de precisión de 1gr.
- Horno de secado.
- Pisón o martillo con peso que oscila entre  $10 \pm 0.02$  lb-m, y la altura de caída de  $18 \pm 0.05$  pulgadas.
- Mallas o tamices N° 4 de 3/4 y 3/8 pulgadas.
- Bandejas y bowls metálicas.
- Cucharas metálicas.
- Regla metálica.
- Probeta y pipeta de agua para adición de agua.

#### b) Procedimiento del ensayo

Según el Manual de MTC existen tres métodos para el ensayo de compactación de suelos en laboratorio, el método utilizado en la presente investigación fue el método A, molde de 4" con 5 capas y 25 golpes por cada capa.

Se realiza la revisión del molde, collar de extensión y calibración del martillo de compactación, se verifica que estén en óptimas condiciones de tal manera asegurar precisión en los datos obtenidos durante el ensayo.

Primero se seca el material obtenido en campo y se desmenuza con ayuda de mazos de goma, luego se procede a realizar el tamizado haciendo uso del tamiz N° 4, según la granulometría del suelo. Es necesario preparar cuatro o cinco muestras como mínimo con contenido de agua cercanos al óptimo de dicho suelo, que resulten dos especímenes húmedos y dos secos para poder generar los puntos en la curva de compactación y su línea de tendencia, preparando aproximadamente 2.3kg de suelo por punto para el método A.



**Figura 32.** Secado, desmenuzado y tamizado de la muestra para el estudio.



*Fuente: Elaboración Propia.*

Se procede a preparar la porción de muestra con la adición determinada de agua (porcentajes cercanos al óptimo de humedad), mezclando continuamente para conseguir una distribución homogénea de partículas y humedad en la muestra, luego la muestra preparada se coloca en un recipiente hermético para que este conserve las características y humedad esperada.



**Figura 33.** Adición de agua en los porcentajes establecidos y mezclado de la muestra.



*Fuente: Elaboración Propia.*

Se registra el volumen del molde Proctor, se ensambla y procede a dividir la muestra preparada en 5 partes iguales. Se coloca la primera porción de muestra de suelo de las 05 capas. se apisona ligeramente buscando nivelar y se procede a compactar cada capa con 25 golpes en el molde de 4'', manteniendo firme el martillo apisonador y aplicando el golpe uniformemente sobre las capas, se continua el mismo procedimiento para las 4 capas restantes.

**Figura 34.** División de la muestra en 5 partes iguales, y compactación en 5 capas.

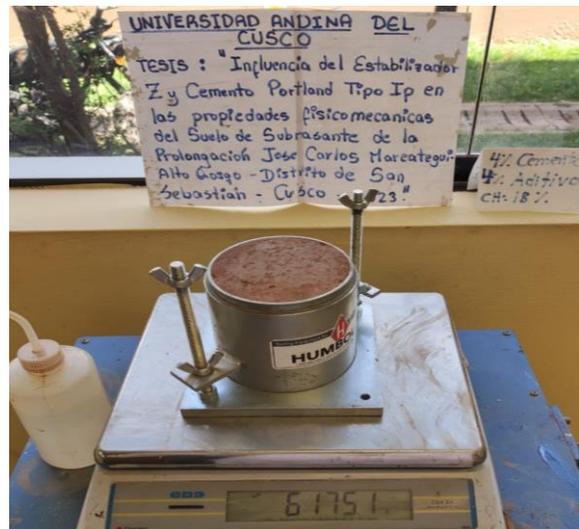




*Fuente: Elaboración Propia.*

Finalizada la compactación de las 5 capas esta última debe sobresalir ligeramente unos 6-10mm de la parte superior del molde en el collar, con cuidado, se retira el collar y con una varilla y regla metálica se procede con el enrasado de la superficie, rellenando cada hoyo o desnivel, formando una superficie plana. Se toma el peso del espécimen en una balanza de precisión al gramo.

**Figura 35.** Enrasado de superficie y registro del molde más suelo compactado.



*Fuente: Elaboración Propia.*

Se coloca a la maquina extractora para obtener una porción representativa del suelo compactado, se tomó aproximadamente 500gr, a partir del cual se determinó el contenido de humedad.



**Figura 36.** Extracción de espécimen, registro de peso de la muestra representativa del suelo para determinar contenido de humedad.



*Fuente: Elaboración Propia.*



### 3.5.3.1. Toma de datos

**Tabla 25.** Recolección de datos del ensayo de Proctor Modificado. Suelo Natural.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |   |         |         |         |
|---|---|---------|---------|---------|
| PROCTOR MODIFICADO  |   |         |         |         |
| <b>TESIS</b>  | 'INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022". |         |         |         |
| <b>ENSAYO</b>   | PROCTOR MODIFICADO  |         |         |         |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 115 - COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO ENERGIA MODIFICADA   |         |         |         |
| <b>MUESTRA</b>  | SUELO NATURAL - C-5   |         |         |         |
| <b>FECHA</b>  | 27/03/2023  |         |         |         |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |         |         |         |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |         |         |         |
| DATOS PRELIMINARES  |   |         |         |         |
| <b>METODO DE COMPACTACION</b>   | A   |         |         |         |
| <b>N° DE CAPAS</b>  | 5   |         |         |         |
| <b>MOLDE</b>  | 4"  |         |         |         |
|   | <b>DATOS DE MOLDE</b>   |         |         |         |
|   | <b>DIAMETRO (CM)</b>  | 10.17   |         |         |
|   | <b>ALTURA (CM)</b>  | 11.68   |         |         |
|   | <b>VOLUMEN (CM3)</b>  | 948.80  |         |         |
|   | <b>PESO DEL MOLDE (GR)</b>  | 4138.90 |         |         |
| DENSIDAD HUMEDA   |   |         |         |         |
| <b>PRUEBA N°</b>  | 1   | 2       | 3       | 4       |
| <b>PESO DE MOLDE (gr)</b>   | 4138.90   | 4138.90 | 4138.90 | 4138.90 |
| <b>PESO DE MOLDE + PESO SUELO COMPACTADO</b>  | 6068.30   | 6331.50 | 6271.20 | 6225.40 |
| <b>PESO DE SUELO COMPACTADO (gr)</b>  | 1929.40   | 2192.60 | 2132.30 | 2086.50 |
| <b>VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)</b>  | 948.80  | 948.80  | 948.80  | 948.80  |
| <b>DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)</b>   |   |         |         |         |
| <b>DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>   |   |         |         |         |
| CONTENIDO DE HUMEDAD  |   |         |         |         |
| <b>PRUEBA N°</b>  | 1   | 2       | 3       | 4       |
| <b>PESO DE LA TARA (gr)</b>   | 131.40  | 107.30  | 111.00  | 110.40  |
| <b>PESO DE LA TARA + SUELO HUMEDO (gr)</b>  | 742.80  | 607.50  | 732.60  | 693.50  |
| <b>PESO DE LA TARA + SUELO SECO (gr)</b>  | 676.50  | 544.80  | 638.20  | 602.70  |
| <b>PESO DE SUELO SECO (gr)</b>  | 545.10  | 437.50  | 527.20  | 492.30  |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>   |   |         |         |         |
| <b>DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>   |   |         |         |         |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 26.** Recolección de datos del ensayo de Proctor Modificado. Suelo Natural + 4% Cemento Portland IP.

|  |   | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO            |                     |  |         |
|---|---|---|---------------------|---|---------|
|   |   | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA   |                     |   |         |
|   |   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                     |   |         |
| PROCTOR MODIFICADO  |   |   |                     |   |         |
| TESIS   | 'INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022". |   |                     |   |         |
| ENSAYO  | PROCTOR MODIFICADO  |   |                     |   |         |
| REFERENCIA  | MTC E 115 - COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO ENERGIA MODIFICADA   |   |                     |   |         |
| MUESTRA   | SUELO NATURAL + 4% CEMENTO  |   |                     |   |         |
| FECHA   | 10/04/2023  |   |                     |   |         |
| LUGAR:  | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |   |                     |   |         |
| TESISTAS  | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |   |                     |   |         |
| DATOS PRELIMINARES  |   |   |                     |   |         |
| METODO DE COMPACTACION  |   | A                                       | DATOS DE MOLDE      |   |         |
| N° DE CAPAS   |   | 5                                       | DIAMETRO (CM)       | 10.17   |         |
| MOLDE   |   | 4"                                      | ALTURA (CM)         | 11.68   |         |
|   |   |   | VOLUMEN (CM3)       | 948.80  |         |
|   |   |   | PESO DEL MOLDE (GR) | 4223.00   |         |
| DENSIDAD HUMEDA   |   |   |                     |   |         |
| PRUEBA N°   |   | 1                                       | 2                   | 3   | 4       |
| PESO DE MOLDE (gr)  |   | 4223.00                                 | 4223.00             | 4223.00   | 4223.00 |
| PESO DE MOLDE + PESO SUELO COMPACTADO   |   | 6147.20                                 | 6193.90             | 6219.80   | 6222.90 |
| PESO DE SUELO COMPACTADO (gr)   |   | 1924.20                                 | 1970.90             | 1996.80   | 1999.90 |
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)   |   | 948.80                                  | 948.80              | 948.80  | 948.80  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)  |   |   |                     |   |         |
| DENSIDAD SECA (gr/cm3)  |   |   |                     |   |         |
| CONTENIDO DE HUMEDAD  |   |   |                     |   |         |
| PRUEBA N°   |   | 1                                       | 2                   | 3   | 4       |
| PESO DE LA TARA (gr)  |   | 89.00                                   | 81.60               | 159.00  | 109.60  |
| PESO DE LA TARA + SUELO HUMEDO (gr)   |   | 597.50                                  | 615.90              | 687.40  | 731.10  |
| PESO DE LA TARA + SUELO SECO (gr)   |   | 540.20                                  | 547.40              | 614.40  | 634.30  |
| PESO DE SUELO SECO (gr)   |   | 451.20                                  | 465.80              | 455.40  | 524.70  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  |   |   |                     |   |         |
| DENSIDAD SECA (gr/cm3)  |   |   |                     |   |         |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 27.** Recolección de datos del ensayo de Proctor Modificado. Suelo Natural + 4% Cemento Portland + 1% Estabilizador Z.

|  |   | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>     |                            |  |  |
|---|---|---|----------------------------|---|--|
|   |   | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA   |                            |   |  |
|   |   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                            |   |  |
| <b>PROCTOR MODIFICADO</b>   |   |   |                            |   |  |
| <b>TESIS</b>  | 'INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022". |   |                            |   |  |
| <b>ENSAYO</b>   | PROCTOR MODIFICADO  |   |                            |   |  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 115 - COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO ENERGIA MODIFICADA   |   |                            |   |  |
| <b>MUESTRA</b>  | SUELO NATURAL + 4% CEMENTO + 1% ESTABILIZADOR Z   |   |                            |   |  |
| <b>FECHA</b>  | 10/04/2023  |   |                            |   |  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |   |                            |   |  |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |   |                            |   |  |
| <b>DATOS PRELIMINARES</b>   |   |   |                            |   |  |
| <b>METODO DE COMPACTACION</b>   | A   |   | <b>DATOS DE MOLDE</b>      |   |  |
| <b>N° DE CAPAS</b>  | 5   |   | <b>DIAMETRO (CM)</b>       | 10.17   |  |
| <b>MOLDE</b>  | 4"  |   | <b>ALTURA (CM)</b>         | 11.68   |  |
|   |   |   | <b>VOLUMEN (CM3)</b>       | 948.80  |  |
|   |   |   | <b>PESO DEL MOLDE (GR)</b> | 4223.00   |  |
| <b>DENSIDAD HUMEDA</b>  |   |   |                            |   |  |
| <b>PRUEBA N°</b>  | 1   | 2                                       | 3                          | 4   |  |
| <b>PESO DE MOLDE (gr)</b>   | 4223.00   | 4223.00                                 | 4223.00                    | 4223.00   |  |
| <b>PESO DE MOLDE + PESO SUELO COMPACTADO</b>                                      | 6084.70   | 6172.60                                 | 6206.70                    | 6213.10   |  |
| <b>PESO DE SUELO COMPACTADO (gr)</b>  | 1861.70   | 1949.60                                 | 1983.70                    | 1990.10   |  |
| <b>VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)</b>  | 948.80  | 948.80                                  | 948.80                     | 948.80  |  |
| <b>DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)</b>   |   |   |                            |   |  |
| <b>DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>   |   |   |                            |   |  |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>   |   |   |                            |   |  |
| <b>PRUEBA N°</b>  | 1   | 2                                       | 3                          | 4   |  |
| <b>PESO DE LA TARA (gr)</b>   | 53.20   | 81.80                                   | 119.90                     | 78.20   |  |
| <b>PESO DE LA TARA + SUELO HUMEDO (gr)</b>  | 577.90  | 618.30                                  | 662.40                     | 600.50  |  |
| <b>PESO DE LA TARA + SUELO SECO (gr)</b>  | 531.80  | 554.10                                  | 588.90                     | 523.40  |  |
| <b>PESO DE SUELO SECO (gr)</b>  | 478.60  | 472.30                                  | 469.00                     | 445.20  |  |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>   |   |   |                            |   |  |
| <b>DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>   |   |   |                            |   |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 28.** Recolección de datos del ensayo de Proctor Modificado. Suelo Natural + 4% Cemento Portland + 2% Estabilizador Z.

|  |   | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>     |                            |  |  |
|---|---|---|----------------------------|---|--|
|   |   | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA   |                            |   |  |
|   |   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                            |   |  |
| <b>PROCTOR MODIFICADO</b>   |   |   |                            |   |  |
| <b>TESIS</b>  | 'INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECHANICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022". |   |                            |   |  |
| <b>ENSAYO</b>   | PROCTOR MODIFICADO  |   |                            |   |  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 115 - COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO ENERGIA MODIFICADA   |   |                            |   |  |
| <b>MUESTRA</b>  | SUELO NATURAL + 4% CEMENTO + 2% ESTABILIZADOR Z   |   |                            |   |  |
| <b>FECHA</b>  | 17/04/2023  |   |                            |   |  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |   |                            |   |  |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |   |                            |   |  |
| <b>DATOS PRELIMINARES</b>   |   |   |                            |   |  |
| <b>METODO DE COMPACTACION</b>   | A   |   | <b>DATOS DE MOLDE</b>      |   |  |
| <b>N° DE CAPAS</b>  | 5   |   | <b>DIAMETRO (CM)</b>       | 10.17   |  |
| <b>MOLDE</b>  | 4"  |   | <b>ALTURA (CM)</b>         | 11.68   |  |
|   |   |   | <b>VOLUMEN (CM3)</b>       | 948.80  |  |
|   |   |   | <b>PESO DEL MOLDE (GR)</b> | 4223.00   |  |
| <b>DENSIDAD HUMEDA</b>  |   |   |                            |   |  |
| <b>PRUEBA N°</b>  | 1   | 2                                       | 3                          | 4   |  |
| <b>PESO DE MOLDE (gr)</b>   | 4223.00   | 4223.00                                 | 4223.00                    | 4223.00   |  |
| <b>PESO DE MOLDE + PESO SUELO COMPACTADO</b>                                      | 6057.00   | 6133.70                                 | 6187.90                    | 6149.00   |  |
| <b>PESO DE SUELO COMPACTADO (gr)</b>  | 1834.00   | 1910.70                                 | 1964.90                    | 1926.00   |  |
| <b>VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)</b>  | 948.80  | 948.80                                  | 948.80                     | 948.80  |  |
| <b>DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)</b>   |   |   |                            |   |  |
| <b>DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>   |   |   |                            |   |  |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>   |   |   |                            |   |  |
| <b>PRUEBA N°</b>  | 1   | 2                                       | 3                          | 4   |  |
| <b>PESO DE LA TARA (gr)</b>   | 150.30  | 81.50                                   | 109.70                     | 108.00  |  |
| <b>PESO DE LA TARA + SUELO HUMEDO (gr)</b>  | 780.50  | 610.50                                  | 638.50                     | 618.50  |  |
| <b>PESO DE LA TARA + SUELO SECO (gr)</b>  | 718.90  | 551.90                                  | 558.00                     | 534.50  |  |
| <b>PESO DE SUELO SECO (gr)</b>  | 568.60  | 470.40                                  | 448.30                     | 426.50  |  |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>   |   |   |                            |   |  |
| <b>DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>   |   |   |                            |   |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 29.** Recolección de datos del ensayo de Proctor Modificado. Suelo Natural + 4% Cemento Portland + 4% Estabilizador Z.

|  |   | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>     |                            |         |  |  |
|---|---|---|----------------------------|---------|--|---|
|   |   | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA   |                            |         |  |   |
|   |   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                            |         |  |   |
| <b>PROCTOR MODIFICADO</b>   |   |   |                            |         |  |   |
| <b>TESIS</b>  | 'INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022". |   |                            |         |  |   |
| <b>ENSAYO</b>   | PROCTOR MODIFICADO  |   |                            |         |  |   |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 115 - COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO ENERGIA MODIFICADA   |   |                            |         |  |   |
| <b>MUESTRA</b>  | SUELO NATURAL + 4% CEMENTO + 4% ESTABILIZADOR Z   |   |                            |         |  |   |
| <b>FECHA</b>  | 19/04/2023  |   |                            |         |  |   |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |   |                            |         |  |   |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |   |                            |         |  |   |
| <b>DATOS PRELIMINARES</b>   |   |   |                            |         |  |   |
| <b>METODO DE COMPACTACION</b>   |   | A                                       | <b>DATOS DE MOLDE</b>      |         |  |   |
| <b>N° DE CAPAS</b>  |   | 5                                       | <b>DIAMETRO (CM)</b>       | 10.17   |  |   |
| <b>MOLDE</b>  |   | 4"                                      | <b>ALTURA (CM)</b>         | 11.68   |  |   |
|   |   |   | <b>VOLUMEN (CM3)</b>       | 948.80  |  |   |
|   |   |   | <b>PESO DEL MOLDE (GR)</b> | 4223.00 |  |   |
| <b>DENSIDAD HUMEDA</b>  |   |   |                            |         |  |   |
| <b>PRUEBA N°</b>  | 1   | 2                                       | 3                          | 4       |  |   |
| <b>PESO DE MOLDE (gr)</b>   | 4223.00   | 4223.00                                 | 4223.00                    | 4223.00 |  |   |
| <b>PESO DE MOLDE + PESO SUELO COMPACTADO</b>                                      | 6065.10   | 6111.10                                 | 6175.10                    | 6144.90 |  |   |
| <b>PESO DE SUELO COMPACTADO (gr)</b>  | 1842.10   | 1888.10                                 | 1952.10                    | 1921.90 |  |   |
| <b>VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)</b>  | 948.80  | 948.80                                  | 948.80                     | 948.80  |  |   |
| <b>DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)</b>   |   |   |                            |         |  |   |
| <b>DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>   |   |   |                            |         |  |   |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>   |   |   |                            |         |  |   |
| <b>PRUEBA N°</b>  | 1   | 2                                       | 3                          | 4       |  |   |
| <b>PESO DE LA TARA (gr)</b>   | 130.70  | 109.70                                  | 89.00                      | 108.90  |  |   |
| <b>PESO DE LA TARA + SUELO HUMEDO (gr)</b>  | 702.70  | 692.90                                  | 601.70                     | 631.20  |  |   |
| <b>PESO DE LA TARA + SUELO SECO (gr)</b>  | 650.30  | 629.80                                  | 526.40                     | 546.50  |  |   |
| <b>PESO DE SUELO SECO (gr)</b>  | 519.60  | 520.10                                  | 437.40                     | 437.60  |  |   |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>   |   |   |                            |         |  |   |
| <b>DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>   |   |   |                            |         |  |   |

*Fuente: Elaboración Propia.*



### 3.5.4. Ensayo de Relación de Soporte de California (CBR)

Las normas MTC E 132, NTP 339.145, ASTM D 1883, indican lo siguiente:

#### a) Equipos, materiales utilizados en la prueba

- Prensa digital para ensayo de penetración que vaya a una velocidad uniforme de 1,27 mm por minuto, capacidad de prensa y medida de carga debe ser 44,5 Kn o más y precisión de 44 N o menos.
- Molde de metal cilíndrico CBR para compactación.
- Placa perforada de metal para cada molde cilíndrico de 9,53 mm de espesor.
- Disco espaciador metálico usado como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.
- Pisón de compactación.
- Aparato medidor de expansión
- Vástago.
- Trípode de expansión CBR.
- Pesas metálicas (anular y ranurada).
- Balanza de 20 kg de capacidad con sensibilidad de 1 gr.
- Bandejas metálicas.
- Badilejos
- Regla metálica.
- Cuarteador.
- Probeta.
- Pipeta.
- Martillo metálico.
- Papel filtro.

#### b) Procedimiento del ensayo

El procedimiento para obtener los valores del índice de resistencia de la relación de soporte de California será a partir de especímenes ensayados que contengan condiciones específicas del contenido de agua y densidad.

Primero se seca el suelo con ayuda del horno a temperatura de  $110 \pm 5$  °C por un periodo de 24 horas, posterior al tiempo de secado se desmenuza el material con ayuda del mazo de goma y



se pasa el material por la malla N°4, se realizaron 03 muestras de 5000,00 gr para cada golpe por capa (12 golpes, 26 golpes y 55 golpes) y por cada combinación (suelo natural, suelo natural + 4% de cemento portland tipo IP, suelo natural + 4% de cemento + 1% de aditivo, suelo natural + 4% de cemento + 2% de aditivo, suelo natural + 4% de cemento + 4% de aditivo).

**Figura 37.** Secado y tamizado de la muestra para el estudio.



*Fuente: Elaboración Propia.*

Preparado el material se procede combinar el suelo con 4% de cemento en peso de la muestra mezclando hasta tener una muestra combinada homogénea y así proceder a humedecer la muestra según el contenido de humedad óptimo obtenido en el ensayo Proctor junto con el aditivo en los porcentajes de 1%, 2% y 4% en peso de la muestra y se procede a mezclar durante el tiempo necesario hasta que la muestra este totalmente homogenizada con el agua vertida en el suelo, terminado el proceso de secciona la muestra en 05 partes iguales que serán compactadas en el molde CBR.



**Figura 38.** Mezclado de suelo con cemento, agua, aditivo correspondiente y división de la muestra en 05 partes iguales.



*Fuente: Elaboración Propia.*

Se procede a ensamblar el molde CBR y nos aseguramos de que este bien asegurado, posteriormente se pesa el molde, se sitúa el disco espaciador en el molde y sobre él se coloca el papel filtro, después se empieza a adicionar el material en capas (hasta 05) compactando cada capa con sus respectivos golpes (12, 26 y 55 golpes por capa) para cada espécimen hasta tener todo el material compactado en el molde.



**Figura 39.** Ensamblaje y peso del molde CBR, colocación del papel filtro y compactación de 05 capas en el molde.



*Fuente: Elaboración Propia.*

Una vez compactado el molde se quita el anillo superior y se procede a enrasar todo el material sobrante hasta tener una superficie lisa y uniforme para después desajustar el molde, retirarlo, quitar el disco espaciador, colocar el papel filtro en la base y nuevamente colocar el molde metálico CBR volteado de tal manera que en la parte superior de este quede el espacio libre del disco espaciador para colocar el vástago y las pesas correspondientes y sumergir en agua por un periodo de 04 días.



**Figura 40.** Enrasado y retiro del molde CBR, colocación del papel filtro, colocación inversa del molde CBR.



*Fuente: Elaboración Propia.*



**Figura 41.** Colocación del vástago y las pesas metálicas, inmersión de los moldes CBR en agua durante 04 días.



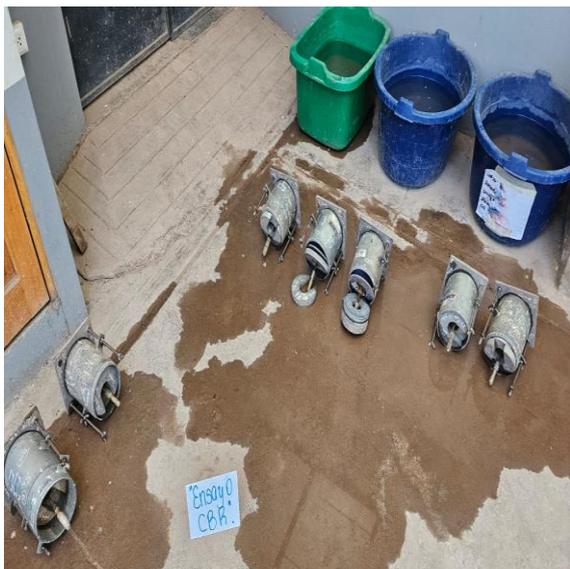
*Fuente: Elaboración Propia.*

Durante los 04 días de inmersión se tomaron lecturas con el trípode CBR cada 24 horas y así tener el porcentaje de esponjamiento, una vez transcurrido los 04 días se retiraron los moldes con mucho cuidado y se tomó 15 minutos fuera del balde de tal forma que pueda salir toda el agua del molde, se retira a pesar en la balanza de precisión de 1 gr y se lleva a la máquina de compresión.

Se coloca el disco espaciador en la base, después se coloca el molde CBR, se ajusta la parte superior de tal forma que la prensa este en contacto y se verifica que este a nivel. Terminado este proceso se programa la máquina de compresión y se ensaya durante un tiempo de 10 minutos anotando todas las lecturas correspondientes, posterior se retira el material del molde y se toma una muestra del medio se pesa y se lleva al horno de secado a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C durante 24 horas para poder obtener el contenido de humedad de las muestras.



**Figura 42.** Medición de expansión de las muestras sumergidas en agua, retiro de las muestras, pesado de las muestras.



*Fuente: Elaboración Propia.*



**Figura 43.** Ensayo del material en la máquina de compresión y extracción de muestra para llevar al horno.



*Fuente: Elaboración Propia.*



### 3.5.4.1. Toma de datos

**Tabla 30.** Recolección de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR. Suelo Natural.

|                              |  | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO            |                     |             |             |             |          |            |       |          |
|------------------------------|--|---|---------------------|-------------|-------------|-------------|----------|------------|-------|----------|
|                              |  | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
|                              |  | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| CAPACIDAD DE SOPORTE CBR     |  |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| TESIS                        | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2022 |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| ENSAYO                       | CAPACIDAD DE SOPORTE CBR   |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| REFERENCIA                   | MITC E 132 - CBR DE SUELOS   |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| MUESTRA                      | SUELO NATURAL  |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| FECHA                        | 02/05/2023   |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| LUGAR                        | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| TESISTAS                     | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| DATOS PRELIMINARES           |  |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| Datos del Proctor Modificado |  |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| Densidad Seca Maxima         | 2.04   | Contenido de Humedad Optimo             |                     | 15.20       | N° de Capas |             | 5        |            |       |          |
| Disco Espaciador             | 6.13   | cm                                      | Diametro del Piston |             | 4.96        | cm          |          |            |       |          |
| COMPACTACIÓN                 |  |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| N° de Molde                  | #  | 1                                       |                     | 2           |             | 3           |          |            |       |          |
| N° de Golpes por Capa        | #  | 12                                      |                     | 26          |             | 55          |          |            |       |          |
| Altura del Molde             | cm   | 17.81                                   |                     | 17.83       |             | 17.81       |          |            |       |          |
| Diametro del Molde           | cm   | 15.21                                   |                     | 15.20       |             | 15.20       |          |            |       |          |
| Volmen de molde              | cm3  |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| Peso de molde                | gr   | 7634.8                                  |                     | 7497.1      |             | 7912.7      |          |            |       |          |
| CONDICION DE LA MUESTRA      |  | No Saturado                             |                     | No Saturado |             | No Saturado |          |            |       |          |
| Peso molde + Suelo humedo    | gr   | 12030.81                                |                     | 11969.57    |             | 12668.54    |          |            |       |          |
| Peso de suelo humedo         | gr   |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| Densidad Humeda              | gr/cm3   |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| Tara N°                      | N°   | 1                                       |                     | 2           |             | 3           |          |            |       |          |
| Tara + Suelo húmedo          | gr   | 619.9                                   |                     | 644.41      |             | 614.17      |          |            |       |          |
| Tara + Suelo seco            | gr   | 539.24                                  |                     | 566.81      |             | 535.11      |          |            |       |          |
| Peso de agua                 | gr   |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| Peso de tara                 | gr   | 78.3                                    |                     | 120.2       |             | 71.3        |          |            |       |          |
| Peso de suelo seco           | gr   |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| % de humedad                 | %  |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| Densidad Seca                | gr/cm3   |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| PENETRACIÓN                  |  |   |                     |             |             |             |          |            |       |          |
| Penetración                  |  | Molde N° 1                              |                     |             | Molde N° 2  |             |          | Molde N° 3 |       |          |
|                              |  | Carga                                   | Carga               | Esfuerzo    | Carga       | Carga       | Esfuerzo | Carga      | Carga | Esfuerzo |
| pulg                         | mm   | Kn                                      | Kgf                 | kg/cm2      | Kn          | Kgf         | kg/cm2   | Kn         | Kgf   | kg/cm2   |
| 0.000                        | 0  | 0.000                                   |                     |             | 0.000       |             |          | 0.000      |       |          |
| 0.025                        | 0.63   | 0.381                                   |                     |             | 0.305       |             |          | 0.619      |       |          |
| 0.050                        | 1.27   | 0.559                                   |                     |             | 0.592       |             |          | 1.043      |       |          |
| 0.075                        | 1.9  | 0.714                                   |                     |             | 0.899       |             |          | 1.431      |       |          |
| 0.100                        | 2.54   | 0.839                                   |                     |             | 1.154       |             |          | 1.835      |       |          |
| 0.125                        | 3.17   | 0.955                                   |                     |             | 1.362       |             |          | 2.191      |       |          |
| 0.150                        | 3.81   | 1.071                                   |                     |             | 1.559       |             |          | 2.512      |       |          |
| 0.200                        | 5.08   | 1.211                                   |                     |             | 1.847       |             |          | 3.050      |       |          |
| 0.250                        | 6.35   | 1.282                                   |                     |             | 2.070       |             |          | 3.577      |       |          |
| 0.300                        | 7.62   | 1.333                                   |                     |             | 2.279       |             |          | 4.041      |       |          |
| 0.400                        | 10.16  | 1.415                                   |                     |             | 2.610       |             |          | 4.793      |       |          |
| 0.500                        | 12.7   | 1.525                                   |                     |             | 2.963       |             |          | 5.438      |       |          |



| Expansión  |             |              |   |             |              |   |             |              |   |
|------------|-------------|--------------|---|-------------|--------------|---|-------------|--------------|---|
| Tiempo Hr. | Molde N° 01 |              |   | Molde N° 02 |              |   | Molde N° 03 |              |   |
|            | Dial *0.001 | Hinchamiento |   | Dial *0.001 | Hinchamiento |   | Dial *0.001 | Hinchamiento |   |
|            |             | mm           | % |             | mm           | % |             | mm           | % |
| 0          | 440         |              |   | 305         |              |   | 102         |              |   |
| 24         | 491         |              |   | 376         |              |   | 158         |              |   |
| 48         | 492         |              |   | 377         |              |   | 162         |              |   |
| 72         | 492         |              |   | 378         |              |   | 163         |              |   |
| 96         | 493         |              |   | 379         |              |   | 164         |              |   |

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 31.** Recolección de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR. Suelo Natural +4% de Cemento Portland.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |  |  <b>Universidad Andina del Cusco</b> |                     |             |        |
|---|--|---|---------------------|-------------|--------|
| CAPACIDAD DE SOPORTE CBR  |  |   |                     |             |        |
| TESIS   | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2022 |   |                     |             |        |
| ENSAYO  | CAPACIDAD DE SOPORTE CBR   |   |                     |             |        |
| REFERENCIA  | MTC E 132 - CBR DE SUELOS  |   |                     |             |        |
| MUESTRA   | SUELO NATURAL + 4% CEMENTO   |   |                     |             |        |
| FECHA   | 03/05/2023   |   |                     |             |        |
| LUGAR   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |   |                     |             |        |
| TESISTAS  | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |   |                     |             |        |
| DATOS PRELIMINARES  |  |   |                     |             |        |
| Datos del Proctor Modificado  |  |   |                     |             |        |
| Densidad Seca Maxima  | 1.81   | Contenido de Humedad Optimo   | 15.90               | N° de Capas | 5      |
| Disco Espaciador  | 6.13   | cm  | Diametro del Piston | 4.96        | cm     |
| COMPACTACIÓN  |  |   |                     |             |        |
| N° de Molde   | #  | 1   | 2                   | 3           |        |
| N° de Golpes por Capa   | #  | 12  | 26                  | 55          |        |
| Altura del Molde  | cm   | 17.81   | 17.83               | 17.81       |        |
| Diametro del Molde  | cm   | 15.21   | 15.20               | 15.20       |        |
| Volmen de molde   | cm <sup>3</sup>  |   |                     |             |        |
| Peso de molde   | gr   | 7970  | 7535                | 7505        |        |
| CONDICION DE LA MUESTRA   |  | No Saturado   | No Saturado         | No Saturado |        |
| Peso molde + Suelo humedo   | gr   | 11776.52  | 11647.91            | 11823.75    |        |
| Peso de suelo humedo  | gr   |   |                     |             |        |
| Densidad Humeda   | gr/cm <sup>3</sup>   |   |                     |             |        |
| Tara N°   |  | N°  | 1                   | 2           | 3      |
| Tara + Suelo húmedo   | gr   |   | 603.95              | 575.03      | 355.22 |
| Tara + Suelo seco   | gr   |   | 543.8               | 522.4       | 321.4  |
| Peso de agua  | gr   |   |                     |             |        |
| Peso de tara  | gr   |   | 106.8               | 139.8       | 78.2   |
| Peso de suelo seco  | gr   |   |                     |             |        |
| % de humedad  | %  |   |                     |             |        |
| Densidad Seca   | gr/cm <sup>3</sup>   |   |                     |             |        |



| PENETRACIÓN  |             |              |              |                    |               |              |                    |               |              |                    |
|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------------|---------------|--------------|--------------------|---------------|--------------|--------------------|
| Penetración  |             | Molde N° 1   |              |                    | Molde N° 2    |              |                    | Molde N° 3    |              |                    |
| pulg         | mm          | Carga<br>Kn  | Carga<br>Kgf | Esfuerzo<br>kg/cm2 | Carga<br>Kgf  | Carga<br>Kgf | Esfuerzo<br>kg/cm2 | Carga<br>Kgf  | Carga<br>Kgf | Esfuerzo<br>kg/cm2 |
| 0.000        | 0           | 0.000        |              |                    | 0.000         |              |                    | 0.000         |              |                    |
| 0.025        | 0.63        | 1.963        |              |                    | 2.472         |              |                    | 4.132         |              |                    |
| 0.050        | 1.27        | 3.796        |              |                    | 5.863         |              |                    | 8.113         |              |                    |
| 0.075        | 1.9         | 5.033        |              |                    | 8.023         |              |                    | 11.383        |              |                    |
| <b>0.100</b> | <b>2.54</b> | <b>6.103</b> |              |                    | <b>9.833</b>  |              |                    | <b>13.403</b> |              |                    |
| 0.125        | 3.17        | 7.012        |              |                    | 11.152        |              |                    | 14.773        |              |                    |
| 0.150        | 3.81        | 7.699        |              |                    | 12.018        |              |                    | 15.623        |              |                    |
| <b>0.200</b> | <b>5.08</b> | <b>8.993</b> |              |                    | <b>13.058</b> |              |                    | <b>16.625</b> |              |                    |
| 0.250        | 6.35        | 9.963        |              |                    | 13.783        |              |                    | 17.153        |              |                    |
| 0.300        | 7.62        | 10.703       |              |                    | 14.414        |              |                    | 17.602        |              |                    |
| 0.400        | 10.16       | 11.559       |              |                    | 15.257        |              |                    | 18.236        |              |                    |
| 0.500        | 12.7        | 11.981       |              |                    | 15.560        |              |                    | 18.353        |              |                    |

| Expansión  |             |              |   |             |              |   |             |              |   |
|------------|-------------|--------------|---|-------------|--------------|---|-------------|--------------|---|
| Tiempo Hr. | Molde N° 01 |              |   | Molde N° 02 |              |   | Molde N° 03 |              |   |
|            | Dial *0.001 | Hinchamiento |   | Dial *0.001 | Hinchamiento |   | Dial *0.001 | Hinchamiento |   |
|            |             | mm           | % |             | mm           | % |             | mm           | % |
| 0          | 81          |              |   | 265         |              |   | 362         |              |   |
| 24         | 115         |              |   | 304         |              |   | 377         |              |   |
| 48         | 116         |              |   | 305         |              |   | 380         |              |   |
| 72         | 118         |              |   | 306         |              |   | 382         |              |   |
| 96         | 119         |              |   | 308         |              |   | 383         |              |   |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 32.** Recolección de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR. Suelo Natural +4% de Cemento Portland +1% de Estabilizador Z.

| UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |  | Universidad Andina del Cusco |             |
|--|--|------------------------------|-------------|
| CAPACIDAD DE SOPORTE CBR   |  |                              |             |
| <b>TESIS</b>   | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2022 |                              |             |
| <b>ENSAYO</b>  | CAPACIDAD DE SOPORTE CBR   |                              |             |
| <b>REFERENCIA</b>  | MTC E 132 - CBR DE SUELOS  |                              |             |
| <b>MUESTRA</b>   | SUELO NATURAL +4% CEMENTO + 1% DE ADITIVO Z  |                              |             |
| <b>FECHA</b>   | 04/05/2023   |                              |             |
| <b>LUGAR</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                              |             |
| <b>TESISTAS</b>  | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |                              |             |
| DATOS PRELIMINARES   |  |                              |             |
| Datos del Proctor Modificado   |  |                              |             |
| Densidad Seca Maxima   | 1.81   | Contenido de Humedad Optimo  | 14.60       |
| Disco Espaciador   | 6.13   | N° de Capas                  | 5           |
|  | cm   | Diametro del Piston          | 4.96        |
|  |  | cm                           |             |
| COMPACTACIÓN   |  |                              |             |
| N° de Molde  | #  | 1                            | 2           |
| N° de Golpes por Capa  | #  | 12                           | 26          |
| Altura del Molde   | cm   | 17.81                        | 17.83       |
| Diametro del Molde   | cm   | 15.21                        | 15.20       |
| Volmen de molde  | cm <sup>3</sup>  |                              |             |
| Peso de molde  | gr   | 7655.1                       | 6935        |
|  |  |                              | 6930        |
| CONDICION DE LA MUESTRA  |  | No Saturado                  | No Saturado |
| Peso molde + Suelo humedo  | gr   | 11652.76                     | 11235.53    |
| Peso de suelo humedo   | gr   |                              |             |
| Densidad Humeda  | gr/cm <sup>3</sup>   |                              |             |
| Tara N°  | N°   | 1                            | 2           |
| Tara + Suelo húmedo  | gr   | 353.43                       | 391.86      |
| Tara + Suelo seco  | gr   | 324                          | 362.4       |
| Peso de agua   | gr   |                              |             |
| Peso de tara   | gr   | 131.1                        | 139.8       |
| Peso de suelo seco   | gr   |                              |             |
| % de humedad   | %  |                              |             |
| Densidad Seca  | gr/cm <sup>3</sup>   |                              |             |

| PENETRACIÓN |       |            |           |                             |            |           |                             |            |           |                             |
|-------------|-------|------------|-----------|-----------------------------|------------|-----------|-----------------------------|------------|-----------|-----------------------------|
| Penetración |       | Molde N° 1 |           |                             | Molde N° 2 |           |                             | Molde N° 3 |           |                             |
|             |       | Carga Kn   | Carga Kgf | Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup> | Carga Kn   | Carga Kgf | Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup> | Carga Kn   | Carga Kgf | Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup> |
| 0.000       | 0     | 0.000      |           |                             | 0.000      |           |                             | 0.000      |           |                             |
| 0.025       | 0.63  | 1.423      |           |                             | 1.757      |           |                             | 2.262      |           |                             |
| 0.050       | 1.27  | 3.447      |           |                             | 4.046      |           |                             | 7.179      |           |                             |
| 0.075       | 1.9   | 5.348      |           |                             | 7.324      |           |                             | 10.718     |           |                             |
| 0.100       | 2.54  | 7.238      |           |                             | 9.643      |           |                             | 13.320     |           |                             |
| 0.125       | 3.17  | 8.480      |           |                             | 11.117     |           |                             | 14.655     |           |                             |
| 0.150       | 3.81  | 9.169      |           |                             | 12.062     |           |                             | 15.409     |           |                             |
| 0.200       | 5.08  | 9.867      |           |                             | 13.021     |           |                             | 16.482     |           |                             |
| 0.250       | 6.35  | 10.289     |           |                             | 13.804     |           |                             | 17.239     |           |                             |
| 0.300       | 7.62  | 10.684     |           |                             | 14.344     |           |                             | 17.774     |           |                             |
| 0.400       | 10.16 | 11.103     |           |                             | 14.986     |           |                             | 18.429     |           |                             |
| 0.500       | 12.7  | 11.643     |           |                             | 15.605     |           |                             | 18.805     |           |                             |



| Expansión  |             |              |   |             |              |   |             |              |   |
|------------|-------------|--------------|---|-------------|--------------|---|-------------|--------------|---|
| Tiempo Hr. | Molde N° 01 |              |   | Molde N° 02 |              |   | Molde N° 03 |              |   |
|            | Dial *0.001 | Hinchamiento |   | Dial *0.001 | Hinchamiento |   | Dial *0.001 | Hinchamiento |   |
|            |             | mm           | % |             | mm           | % |             | mm           | % |
| 0          | 176         |              |   | 97          |              |   | 457         |              |   |
| 24         | 232         |              |   | 119         |              |   | 504         |              |   |
| 48         | 234         |              |   | 120         |              |   | 505         |              |   |
| 72         | 236         |              |   | 122         |              |   | 506         |              |   |
| 96         | 237         |              |   | 123         |              |   | 506         |              |   |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 33.** Recolección de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR. Suelo Natural +4% de Cemento Portland +2% de Estabilizador Z.

| UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO            |  |                             |                     |                    |    |
|---|--|-----------------------------|---------------------|--------------------|----|
| FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA   |  |                             |                     |                    |    |
| ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |  |                             |                     |                    |    |
| <b>CAPACIDAD DE SOPORTE CBR</b>         |  |                             |                     |                    |    |
| <b>TESIS</b>                            | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2022 |                             |                     |                    |    |
| <b>ENSAYO</b>                           | CAPACIDAD DE SOPORTE CBR   |                             |                     |                    |    |
| <b>REFERENCIA</b>                       | MTC E 132 - CBR DE SUELOS  |                             |                     |                    |    |
| <b>MUESTRA</b>                          | SUELO NATURAL +4% CEMENTO + 2% DE ADITIVO Z  |                             |                     |                    |    |
| <b>FECHA</b>                            | 05/05/2023   |                             |                     |                    |    |
| <b>LUGAR</b>                            | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                             |                     |                    |    |
| <b>TESISTAS</b>                         | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |                             |                     |                    |    |
| <b>DATOS PRELIMINARES</b>               |  |                             |                     |                    |    |
| Datos del Proctor Modificado            |  |                             |                     |                    |    |
| Densidad Seca Maxima                    | 1.81   | Contenido de Humedad Optimo | 14.50               | N° de Capas        | 5  |
| Disco Espaciador                        | 6.13   | cm                          | Diametro del Piston | 4.96               | cm |
| <b>COMPACTACIÓN</b>                     |  |                             |                     |                    |    |
| N° de Molde                             | #  | 1                           | 2                   | 3                  |    |
| N° de Golpes por Capa                   | #  | 12                          | 26                  | 55                 |    |
| Altura del Molde                        | cm   | 17.81                       | 17.83               | 17.81              |    |
| Diametro del Molde                      | cm   | 15.21                       | 15.20               | 15.20              |    |
| Volmen de molde                         | cm3  |                             |                     |                    |    |
| Peso de molde                           | gr   | 8000                        | 8545                | 6935               |    |
| <b>CONDICION DE LA MUESTRA</b>          |  | <b>No Saturado</b>          | <b>No Saturado</b>  | <b>No Saturado</b> |    |
| Peso molde + Suelo humedo               | gr   | 11960.47                    | 12795.68            | 11379.83           |    |
| Peso de suelo humedo                    | gr   |                             |                     |                    |    |
| Densidad Humeda                         | gr/cm3   |                             |                     |                    |    |
| Tara N°                                 | N°   | 1                           | 2                   | 3                  |    |
| Tara + Suelo húmedo                     | gr   | 633.26                      | 474.98              | 431.23             |    |
| Tara + Suelo seco                       | gr   | 573.4                       | 435.1               | 394.6              |    |
| Peso de agua                            | gr   |                             |                     |                    |    |
| Peso de tara                            | gr   | 120.2                       | 150.3               | 110.5              |    |
| Peso de suelo seco                      | gr   |                             |                     |                    |    |
| % de humedad                            | %  |                             |                     |                    |    |
| Densidad Seca                           | gr/cm3   |                             |                     |                    |    |



| PENETRACIÓN |       |            |       |          |            |       |          |            |       |          |
|-------------|-------|------------|-------|----------|------------|-------|----------|------------|-------|----------|
| Penetración |       | Molde N° 1 |       |          | Molde N° 2 |       |          | Molde N° 3 |       |          |
|             |       | Carga      | Carga | Esfuerzo | Carga      | Carga | Esfuerzo | Carga      | Carga | Esfuerzo |
| pulg        | mm    | Kn         | Kgf   | kg/cm2   | Kn         | Kgf   | kg/cm2   | Kn         | Kgf   | kg/cm2   |
| 0.000       | 0     | 0.000      |       |          | 0.000      |       |          | 0.000      |       |          |
| 0.025       | 0.63  | 1.353      |       |          | 2.163      |       |          | 3.878      |       |          |
| 0.050       | 1.27  | 4.154      |       |          | 6.096      |       |          | 9.253      |       |          |
| 0.075       | 1.9   | 6.220      |       |          | 9.383      |       |          | 13.103     |       |          |
| 0.100       | 2.54  | 7.878      |       |          | 11.573     |       |          | 15.462     |       |          |
| 0.125       | 3.17  | 9.120      |       |          | 12.891     |       |          | 16.584     |       |          |
| 0.150       | 3.81  | 9.918      |       |          | 13.704     |       |          | 17.348     |       |          |
| 0.200       | 5.08  | 10.838     |       |          | 14.916     |       |          | 18.553     |       |          |
| 0.250       | 6.35  | 11.734     |       |          | 15.816     |       |          | 19.470     |       |          |
| 0.300       | 7.62  | 12.587     |       |          | 16.616     |       |          | 20.373     |       |          |
| 0.400       | 10.16 | 13.875     |       |          | 18.016     |       |          | 21.777     |       |          |
| 0.500       | 12.7  | 15.135     |       |          | 19.016     |       |          | 23.094     |       |          |

| Expansión  |             |              |   |             |              |   |             |              |   |
|------------|-------------|--------------|---|-------------|--------------|---|-------------|--------------|---|
| Tiempo Hr. | Molde N° 01 |              |   | Molde N° 02 |              |   | Molde N° 03 |              |   |
|            | Dial *0.001 | Hinchamiento |   | Dial *0.001 | Hinchamiento |   | Dial *0.001 | Hinchamiento |   |
|            |             | mm           | % |             | mm           | % |             | mm           | % |
| 0          | 491         |              |   | 151         |              |   | 315         |              |   |
| 24         | 524         |              |   | 178         |              |   | 362         |              |   |
| 48         | 526         |              |   | 180         |              |   | 364         |              |   |
| 72         | 527         |              |   | 181         |              |   | 365         |              |   |
| 96         | 528         |              |   | 182         |              |   | 366         |              |   |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 34.** Recolección de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR. Suelo Natural +4% de Cemento Portland +4% de Estabilizador Z.

| UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |  | Universidad<br>Andina<br>del Cusco |             |
|--|--|------------------------------------|-------------|
| CAPACIDAD DE SOPORTE CBR   |  |                                    |             |
| <b>TESIS</b>   | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2022 |                                    |             |
| <b>ENSAYO</b>  | CAPACIDAD DE SOPORTE CBR   |                                    |             |
| <b>REFERENCIA</b>  | MTC E 132 - CBR DE SUELOS  |                                    |             |
| <b>MUESTRA</b>   | SUELO NATURAL +4% CEMENTO + 4% DE ADITIVO Z  |                                    |             |
| <b>FECHA</b>   | 06/05/2023   |                                    |             |
| <b>LUGAR</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                                    |             |
| <b>TESISTAS</b>  | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |                                    |             |
| DATOS PRELIMINARES   |  |                                    |             |
| Datos del Proctor Modificado   |  |                                    |             |
| Densidad Seca Maxima   | 1.78   | Contenido de Humedad Optimo        | 14.00       |
| Disco Espaciador   | 6.13   | N° de Capas                        | 5           |
|  | cm   | Diametro del Piston                | 4.96        |
|  |  | cm                                 |             |
| COMPACTACIÓN   |  |                                    |             |
| N° de Molde  | #  | 1                                  | 2           |
| N° de Golpes por Capa  | #  | 12                                 | 26          |
| Altura del Molde   | cm   | 17.81                              | 17.83       |
| Diametro del Molde   | cm   | 15.21                              | 15.20       |
| Volmen de molde  | cm3  |                                    |             |
| Peso de molde  | gr   | 7971.8                             | 6915        |
|  |  |                                    | 7519.9      |
| CONDICION DE LA MUESTRA  |  | No Saturado                        | No Saturado |
| Peso molde + Suelo humedo  | gr   | 12169.83                           | 11197.16    |
| Peso de suelo humedo   | gr   |                                    |             |
| Densidad Humeda  | gr/cm3   |                                    |             |
| Tara N°  | N°   | 1                                  | 2           |
| Tara + Suelo húmedo  | gr   | 614.66                             | 609.76      |
| Tara + Suelo seco  | gr   | 533.71                             | 535.28      |
| Peso de agua   | gr   |                                    |             |
| Peso de tara   | gr   | 81.7                               | 82.8        |
| Peso de suelo seco   | gr   |                                    |             |
| % de humedad   | %  |                                    |             |
| Densidad Seca  | gr/cm3   |                                    |             |

| PENETRACIÓN |       |            |       |          |            |       |          |            |       |          |
|-------------|-------|------------|-------|----------|------------|-------|----------|------------|-------|----------|
| Penetración |       | Molde N° 1 |       |          | Molde N° 2 |       |          | Molde N° 3 |       |          |
|             |       | Carga      | Carga | Esfuerzo | Carga      | Carga | Esfuerzo | Carga      | Carga | Esfuerzo |
| pulg        | mm    | Kn         | Kgf   | kg/cm2   | Kn         | Kgf   | kg/cm2   | Kn         | Kgf   | kg/cm2   |
| 0.000       | 0     | 0.000      |       |          | 0.000      |       |          | 0.000      |       |          |
| 0.025       | 0.63  | 5.042      |       |          | 4.036      |       |          | 4.838      |       |          |
| 0.050       | 1.27  | 8.143      |       |          | 8.622      |       |          | 10.696     |       |          |
| 0.075       | 1.9   | 9.720      |       |          | 12.243     |       |          | 15.133     |       |          |
| 0.100       | 2.54  | 10.838     |       |          | 15.403     |       |          | 18.388     |       |          |
| 0.125       | 3.17  | 11.749     |       |          | 17.452     |       |          | 20.993     |       |          |
| 0.150       | 3.81  | 12.585     |       |          | 18.813     |       |          | 23.006     |       |          |
| 0.200       | 5.08  | 13.753     |       |          | 20.682     |       |          | 25.847     |       |          |
| 0.250       | 6.35  | 14.276     |       |          | 21.959     |       |          | 27.411     |       |          |
| 0.300       | 7.62  | 14.557     |       |          | 22.793     |       |          | 28.697     |       |          |
| 0.400       | 10.16 | 15.119     |       |          | 23.885     |       |          | 30.327     |       |          |
| 0.500       | 12.7  | 15.529     |       |          | 24.666     |       |          | 31.111     |       |          |

| Expansión  |             |              |   |             |              |   |             |              |   |
|------------|-------------|--------------|---|-------------|--------------|---|-------------|--------------|---|
| Tiempo Hr. | Molde N° 01 |              |   | Molde N° 02 |              |   | Molde N° 03 |              |   |
|            | Dial *0.001 | Hinchamiento |   | Dial *0.001 | Hinchamiento |   | Dial *0.001 | Hinchamiento |   |
|            |             | mm           | % |             | mm           | % |             | mm           | % |
| 0          | 81          |              |   | 265         |              |   | 362         |              |   |
| 24         | 115         |              |   | 304         |              |   | 377         |              |   |
| 48         | 116         |              |   | 305         |              |   | 380         |              |   |
| 72         | 118         |              |   | 306         |              |   | 382         |              |   |
| 96         | 119         |              |   | 308         |              |   | 383         |              |   |

Fuente: Elaboración Propia.



### 3.6. Procedimiento de Análisis de datos

#### 3.6.1. Ensayo de Granulometría por Tamizado

Se realizaron cinco ensayos, uno por cada punto de calicata respectivamente.

##### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Para calcular el peso retenido en cada tamiz se usa la siguiente formula:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

Para el cálculo del % retenido acumulado se usa la siguiente formula:

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = \text{Suma de porcentajes mayores o iguales}$$

Seguido pasamos a calcular el porcentaje que pasa usando la siguiente formula:

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

Se procede a elaborar la curva granulométrica, la cual necesitamos para hallar las aberturas por las que pasa el 10, 30 y 60% del suelo.

Después se realiza el cálculo del coeficiente de uniformidad con la siguiente formula:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

- D60 es la abertura por la cual pasa el 60% del suelo.
- D10 es la abertura por la cual pasa el 10% del suelo.

Considerando también que si  $C_u \leq 2$  se considera un suelo uniforme y caso de que  $C_u \geq 10$  se considera un suelo con granulometría muy diversa.

Junto con el  $C_u$  se realiza el cálculo del coeficiente de curvatura con la siguiente formula:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

El cual nos ayuda a determinar si el suelo está bien o mal graduado.



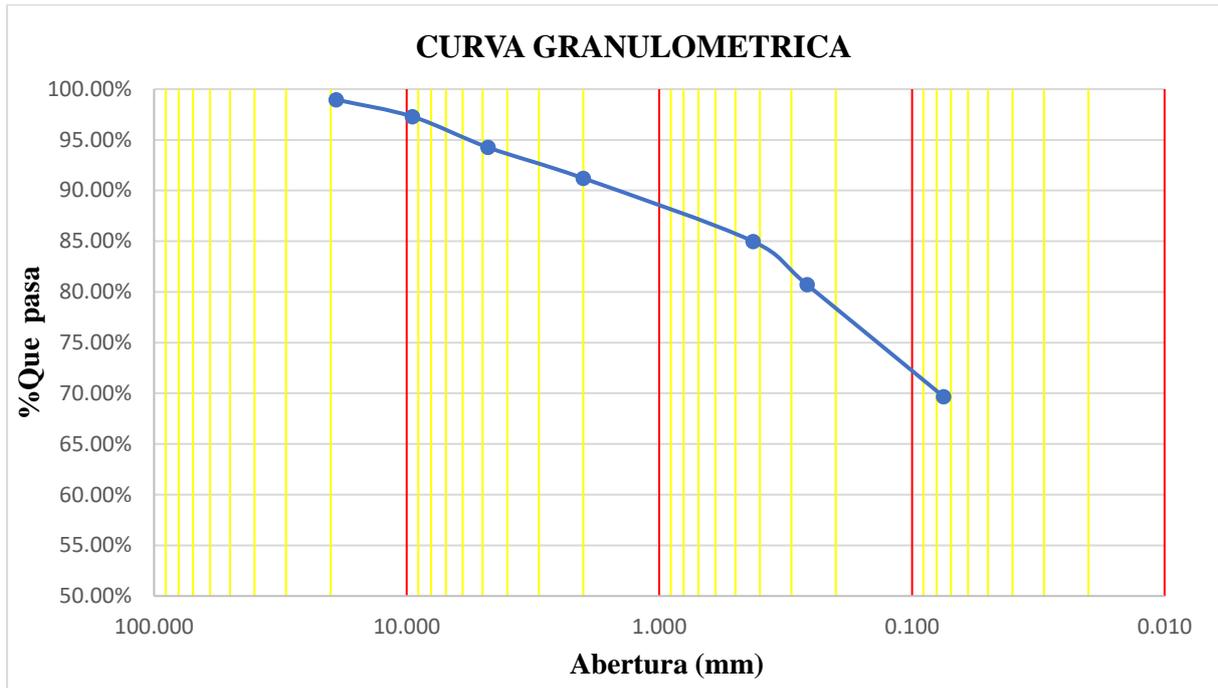
### 3.6.1.1. Diagrama y tablas para su interpretación.

Tabla 35. Análisis de datos del ensayo de Granulometría por tamizado – Calicata C-1.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |   |  |                   |               |                      |              |
|---|---|---|-------------------|---------------|----------------------|--------------|
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR TAMIZADO</b>   |   |   |                   |               |                      |              |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECANICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2023 |   |                   |               |                      |              |
| <b>ENSAYO</b>   | GRANULOMETRIA   |   |                   |               |                      |              |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 107 ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO  |   |                   |               |                      |              |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-1  |   |                   |               |                      |              |
| <b>FECHA</b>  | 22/03/2023  |   |                   |               |                      |              |
| <b>LUGAR</b>  | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |   |                   |               |                      |              |
| <b>RESPONSABLES</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |   |                   |               |                      |              |
| Malla N°  | Abertura en (mm)  | Peso Retenido (gr)  | Compensación (gr) | % Retenido    | % Retenido Acumulado | % Que pasa   |
| 3/4"  | 19.000  | 20.70   | 21.99             | 1.04%         | 1.04%                | 98.96%       |
| 3/8"  | 9.500   | 33.20   | 34.49             | 1.67%         | 2.71%                | 97.29%       |
| N°4   | 4.760   | 60.50   | 61.79             | 3.04%         | 5.75%                | 94.25%       |
| N°10  | 2.000   | 60.60   | 61.89             | 3.04%         | 8.79%                | 91.21%       |
| N°40  | 0.425   | 124.20  | 125.49            | 6.24%         | 15.03%               | 84.97%       |
| N°60  | 0.260   | 84.90   | 86.19             | 4.26%         | 19.29%               | 80.71%       |
| N°200   | 0.075   | 219.70  | 220.99            | 11.03%        | 30.33%               | 69.67%       |
| <b>FONDO</b>  |   | <b>1387.20</b>  | <b>1387.20</b>    | <b>69.67%</b> | <b>100.00%</b>       | <b>0.00%</b> |
| <b>TOTAL=</b>   |   | <b>1991.00</b>  | <b>2000.00</b>    |               |                      |              |
| <b>Peso Seco Inicial</b>  |   | <b>Peso Seco Lavado</b>   |                   | <b>W-Wo</b>   |                      |              |
| 2000  |   | 712.6   |                   | 1287.4        |                      |              |
| N° Tamices  |   | 7   |                   |               |                      |              |
| Po - Pf   |   | 9.00  |                   |               |                      |              |
| <b>Compensación</b>   |   | 1.29  |                   |               |                      |              |
| <b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y COEFICIENTE DE CURVATURA</b>  |   |   |                   |               |                      |              |
| <b>D60</b>  | 0.065   | <b>D10</b>  | 0.011             | <b>D30</b>    | 0.032                |              |
| <b>Cu=</b>  |   | <b>5.91</b>   |                   |               |                      |              |
| <b>Cc=</b>  |   | <b>1.43</b>   |                   |               |                      |              |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura 44.** Curva granulométrica, Calicata C-1.



*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 36.** Análisis de datos del ensayo de granulometría por tamizado – Calicata C-2.

| <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |  |                    |                   |               |                      |              |
|---|--|--------------------|-------------------|---------------|----------------------|--------------|
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR TAMIZADO</b>   |  |                    |                   |               |                      |              |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2023 |                    |                   |               |                      |              |
| <b>ENSAYO</b>   | GRANULOMETRIA  |                    |                   |               |                      |              |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 107 ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO   |                    |                   |               |                      |              |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-2   |                    |                   |               |                      |              |
| <b>FECHA</b>  | 22/03/2023   |                    |                   |               |                      |              |
| <b>LUGAR</b>  | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                    |                   |               |                      |              |
| <b>RESPONSABLES</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |                    |                   |               |                      |              |
| Malla N°  | Abertura en (mm)   | Peso Retenido (gr) | Compensación (gr) | % Retenido    | % Retenido Acumulado | % Que pasa   |
| 3/4"  | 19.000   | 0.00               | 3.26              | 0.00%         | 0.00%                | 100.00%      |
| 3/8"  | 9.500  | 28.80              | 32.06             | 1.46%         | 1.46%                | 98.54%       |
| N°4   | 4.760  | 19.90              | 23.16             | 1.01%         | 2.46%                | 97.54%       |
| N°10  | 2.000  | 62.40              | 65.66             | 3.16%         | 5.62%                | 94.38%       |
| N°40  | 0.425  | 143.50             | 146.76            | 7.26%         | 12.88%               | 87.12%       |
| N°60  | 0.260  | 132.30             | 135.56            | 6.69%         | 19.57%               | 80.43%       |
| N°200   | 0.075  | 366.50             | 369.76            | 18.54%        | 38.10%               | 61.90%       |
| <b>FONDO</b>  |  | <b>1223.80</b>     | <b>1223.80</b>    | <b>61.90%</b> | <b>100.00%</b>       | <b>0.00%</b> |
| <b>TOTAL=</b>   |  | <b>1977.20</b>     | <b>2000.00</b>    |               |                      |              |



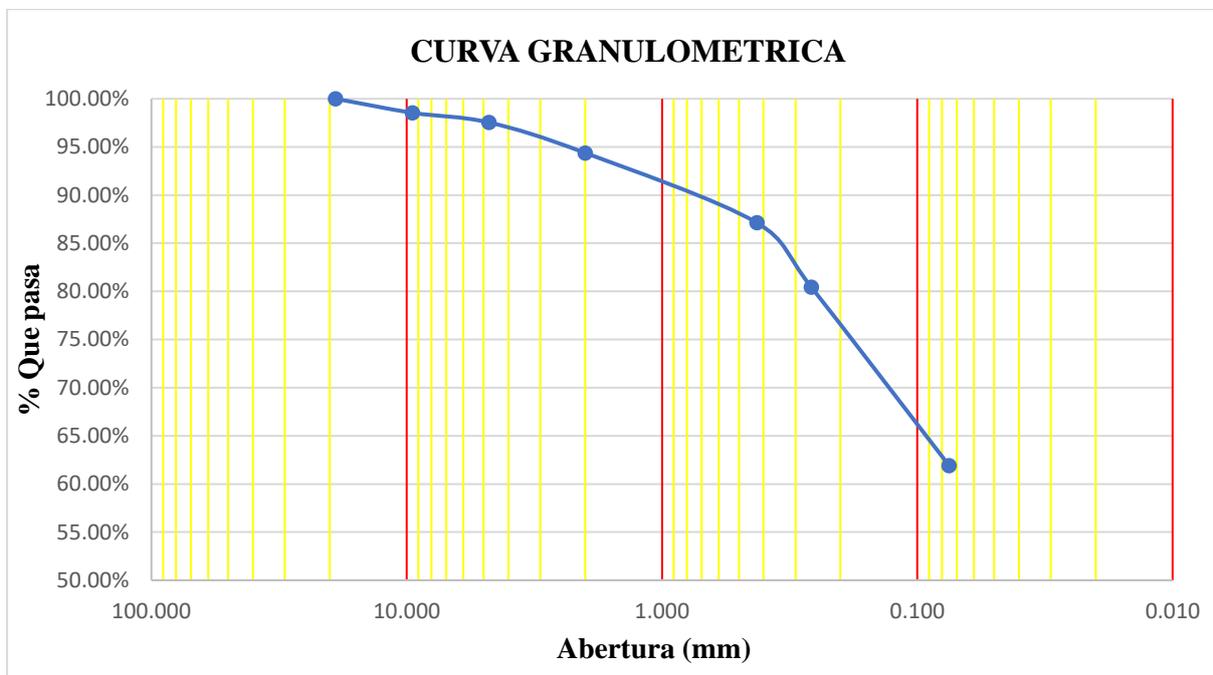
| Peso Seco Inicial | Peso Seco Lavado | W-Wo   |
|-------------------|------------------|--------|
| 2000              | 914.6            | 1085.4 |
| N° Tamices        | 7                |        |
| Po - Pf           | 22.80            |        |
| Compensación      | 3.26             |        |

| COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y COEFICIENTE DE CURVATURA |       |      |       |     |       |
|---|-------|------|-------|-----|-------|
| D60   | 0.073 | D10  | 0.012 | D30 | 0.036 |
| Cu=   |       | 6.08 |       |     |       |
| Cc=   |       | 1.48 |       |     |       |

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 45. Curva granulométrica, Calicata C-2.



Fuente: Elaboración Propia.

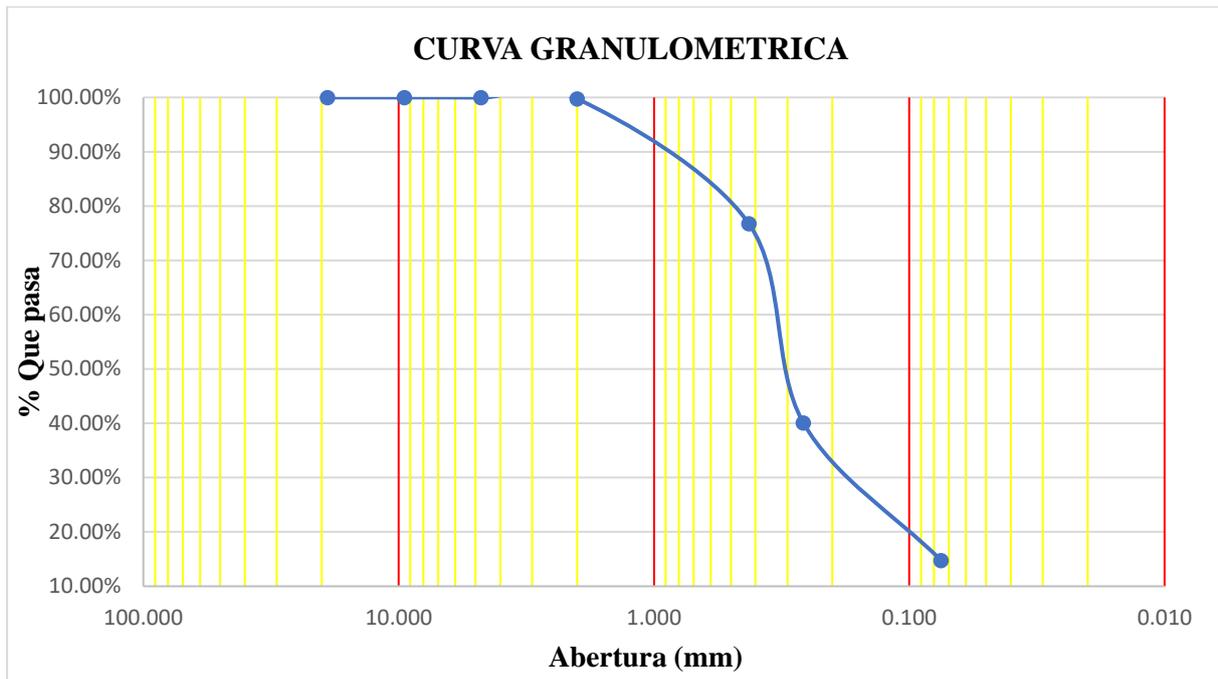


**Tabla 37.** Análisis de datos del ensayo de granulometría por tamizado – Calicata C-3.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  |  |                         |                   |               |                      |              |
|---|--|-------------------------|-------------------|---------------|----------------------|--------------|
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR TAMIZADO</b>   |  |                         |                   |               |                      |              |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECHANICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2023 |                         |                   |               |                      |              |
| <b>ENSAYO</b>   | GRANULOMETRIA  |                         |                   |               |                      |              |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 107 ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO   |                         |                   |               |                      |              |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-3   |                         |                   |               |                      |              |
| <b>FECHA</b>  | 22/03/2023   |                         |                   |               |                      |              |
| <b>LUGAR</b>  | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                         |                   |               |                      |              |
| <b>RESPONSABLES</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |                         |                   |               |                      |              |
| Malla N°  | Abertura en (mm)   | Peso Retenido (gr)      | Compensación (gr) | % Retenido    | % Retenido Acumulado | % Que pasa   |
| 3/4"  | 19.000   | 0.00                    | 5.64              | 0.00%         | 0.00%                | 100.00%      |
| 3/8"  | 9.500  | 0.10                    | 5.74              | 0.01%         | 0.01%                | 99.99%       |
| N°4   | 4.760  | 0.50                    | 6.14              | 0.03%         | 0.03%                | 99.97%       |
| N°10  | 2.000  | 4.20                    | 9.84              | 0.21%         | 0.24%                | 99.76%       |
| N°40  | 0.425  | 450.50                  | 456.14            | 22.98%        | 23.22%               | 76.78%       |
| N°60  | 0.260  | 719.20                  | 724.84            | 36.68%        | 59.91%               | 40.09%       |
| N°200   | 0.075  | 496.60                  | 502.24            | 25.33%        | 85.24%               | 14.76%       |
| <b>FONDO</b>  |  | <b>289.40</b>           | <b>289.40</b>     | <b>14.76%</b> | <b>100.00%</b>       | <b>0.00%</b> |
| <b>TOTAL=</b>   |  | <b>1960.50</b>          | <b>2000.00</b>    |               |                      |              |
| <b>Peso Seco Inicial</b>  |  | <b>Peso Seco Lavado</b> |                   | <b>W-Wo</b>   |                      |              |
| 2000  |  | 1722.7                  |                   | 277.3         |                      |              |
| N° Tamices  |  | 7                       |                   |               |                      |              |
| Po - Pf   |  | 39.50                   |                   |               |                      |              |
| <b>Compensación</b>   |  | 5.64                    |                   |               |                      |              |
| <b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y COEFICIENTE DE CURVATURA</b>  |  |                         |                   |               |                      |              |
| <b>D60</b>  | 0.35   | <b>D10</b>              | 0.051             | <b>D30</b>    | 0.186                |              |
| <b>Cu=</b>  |  | <b>6.86</b>             |                   |               |                      |              |
| <b>Cc=</b>  |  | <b>1.94</b>             |                   |               |                      |              |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura 46.** Curva granulométrica, Calicata C-3.



*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 38.** Análisis de datos del ensayo de granulometría por tamizado – Calicata C-4.

| <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |   |                    |                   |               |                      |              |
|---|---|--------------------|-------------------|---------------|----------------------|--------------|
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR TAMIZADO</b>   |   |                    |                   |               |                      |              |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECANICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2023 |                    |                   |               |                      |              |
| <b>ENSAYO</b>   | GRANULOMETRIA   |                    |                   |               |                      |              |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 107 ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO  |                    |                   |               |                      |              |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-4  |                    |                   |               |                      |              |
| <b>FECHA</b>  | 22/03/2023  |                    |                   |               |                      |              |
| <b>LUGAR</b>  | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |                    |                   |               |                      |              |
| <b>RESPONSABLES</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |                    |                   |               |                      |              |
| Malla N°  | Abertura en (mm)  | Peso Retenido (gr) | Compensación (gr) | % Retenido    | % Retenido Acumulado | % Que pasa   |
| 3/4"  | 19.000  | 0.00               | 4.76              | 0.00%         | 0.00%                | 100.00%      |
| 3/8"  | 9.500   | 0.40               | 5.16              | 0.02%         | 0.02%                | 99.98%       |
| N°4   | 4.760   | 6.20               | 10.96             | 0.32%         | 0.34%                | 99.66%       |
| N°10  | 2.000   | 8.90               | 13.66             | 0.45%         | 0.79%                | 99.21%       |
| N°40  | 0.425   | 78.60              | 83.36             | 4.00%         | 4.78%                | 95.22%       |
| N°60  | 0.260   | 173.40             | 178.16            | 8.82%         | 13.60%               | 86.40%       |
| N°200   | 0.075   | 694.20             | 698.96            | 35.30%        | 48.90%               | 51.10%       |
| <b>FONDO</b>  |   | <b>1005.00</b>     | <b>1005.00</b>    | <b>51.10%</b> | <b>100.00%</b>       | <b>0.00%</b> |
| <b>TOTAL=</b>   |   | <b>1966.70</b>     | <b>2000.00</b>    |               |                      |              |



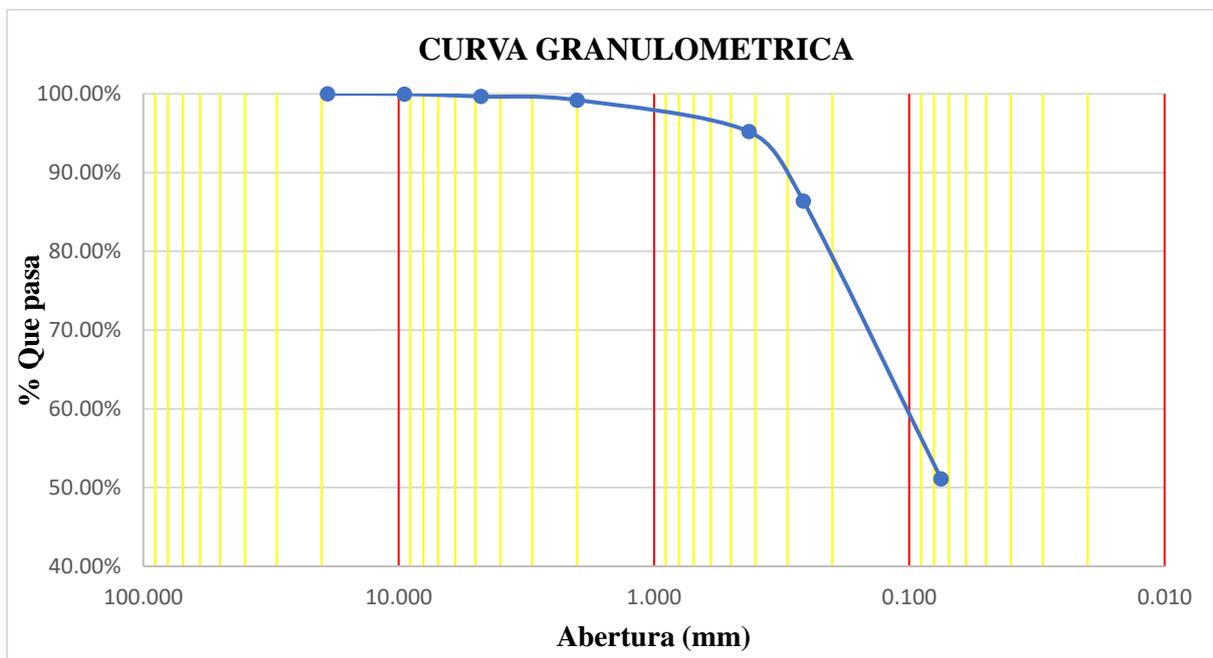
| Peso Seco Inicial | Peso Seco Lavado | W-Wo  |
|-------------------|------------------|-------|
| 2000              | 1028.5           | 971.5 |
| N° Tamices        | 7                |       |
| Po - Pf           | 33.30            |       |
| Compensación      | 4.76             |       |

| COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y COEFICIENTE DE CURVATURA |       |      |       |     |       |
|---|-------|------|-------|-----|-------|
| D60   | 0.122 | D10  | 0.015 | D30 | 0.044 |
| Cu=   |       | 8.13 |       |     |       |
| Cc=   |       | 1.06 |       |     |       |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 39. Curva granulométrica, Calicata C-4.



Fuente: Elaboración Propia.



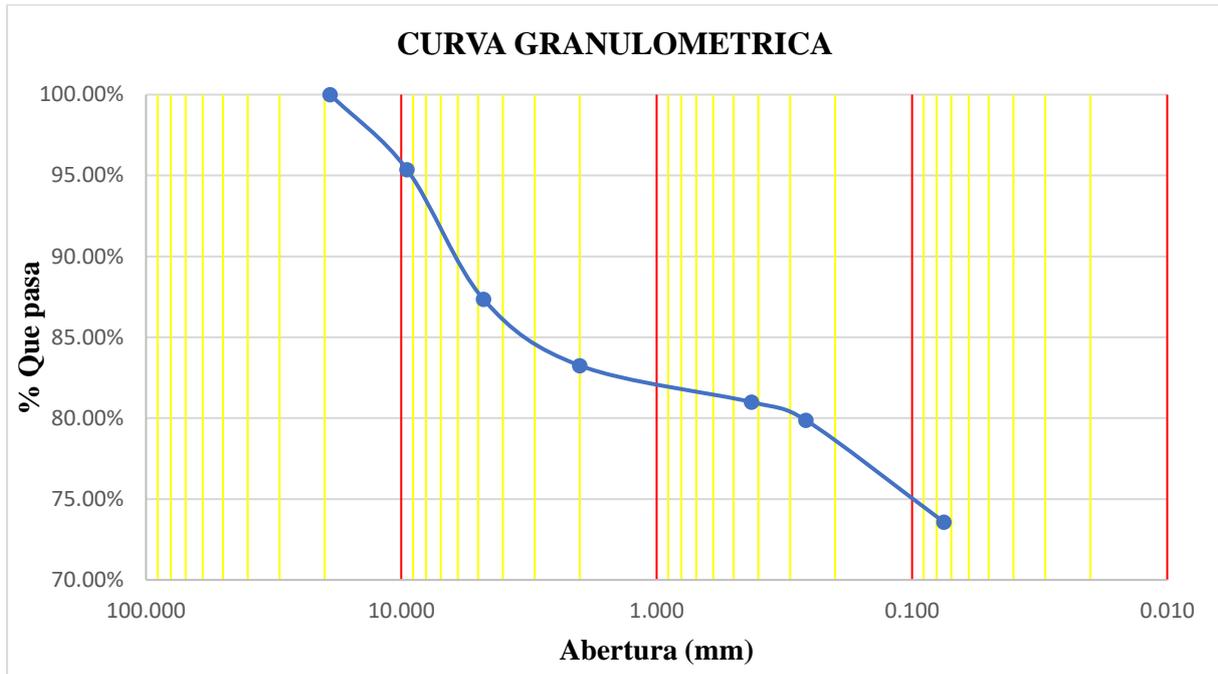
**Tabla 40.** Análisis de datos del ensayo de granulometría por tamizado – Calicata C-5

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |   |  |                   |               |                      |              |
|---|---|---|-------------------|---------------|----------------------|--------------|
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR TAMIZADO</b>   |   |   |                   |               |                      |              |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECANICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2023 |   |                   |               |                      |              |
| <b>ENSAYO</b>   | GRANULOMETRIA   |   |                   |               |                      |              |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 107 ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO  |   |                   |               |                      |              |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-4  |   |                   |               |                      |              |
| <b>FECHA</b>  | 22/03/2023  |   |                   |               |                      |              |
| <b>LUGAR</b>  | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |   |                   |               |                      |              |
| <b>RESPONSABLES</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |   |                   |               |                      |              |
| Malla N°  | Abertura en (mm)  | Peso Retenido (gr)  | Compensación (gr) | % Retenido    | % Retenido Acumulado | % Que pasa   |
| 3/4"  | 19.000  | 0.00  | 1.67              | 0.00%         | 0.00%                | 100.00%      |
| 3/8"  | 9.500   | 92.20   | 93.87             | 4.64%         | 4.64%                | 95.36%       |
| N°4   | 4.760   | 159.50  | 161.17            | 8.02%         | 12.66%               | 87.34%       |
| N°10  | 2.000   | 81.30   | 82.97             | 4.09%         | 16.75%               | 83.25%       |
| N°40  | 0.425   | 44.90   | 46.57             | 2.26%         | 19.01%               | 80.99%       |
| N°60  | 0.260   | 22.40   | 24.07             | 1.13%         | 20.13%               | 79.87%       |
| N°200   | 0.075   | 125.00  | 126.67            | 6.29%         | 26.42%               | 73.58%       |
| <b>FONDO</b>  |   | <b>1463.00</b>  | <b>1463.00</b>    | <b>73.58%</b> | <b>100.00%</b>       | <b>0.00%</b> |
| <b>TOTAL=</b>   |   | <b>1988.30</b>  | <b>2000.00</b>    |               |                      |              |
| <b>Peso Seco Inicial</b>  |   | <b>Peso Seco Lavado</b>   |                   | <b>W-Wo</b>   |                      |              |
| 2000  |   | 573.1   |                   | 1426.9        |                      |              |
| N° Tamices  |   | 7   |                   |               |                      |              |
| Po - Pf   |   | 11.70   |                   |               |                      |              |
| <b>Compensación</b>   |   | 1.67  |                   |               |                      |              |
| <b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y COEFICIENTE DE CURVATURA</b>  |   |   |                   |               |                      |              |
| <b>D60</b>  | 0.061   | <b>D10</b>  | 0.01              | <b>D30</b>    | 0.031                |              |
| <b>Cu=</b>  |   | <b>6.10</b>   |                   |               |                      |              |
| <b>Cc=</b>  |   | <b>1.58</b>   |                   |               |                      |              |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 41.** Curva granulométrica, Calicata C-5.



*Fuente: Elaboración Propia.*

**b) Comentario de los resultados obtenidos en la prueba.**

**Tabla 42.** Tabla resumen de resultados del Análisis Granulométrico por Tamizado del Suelo de las Calicatas.

| DESCRIPCION  | % DE    | % DE    | DIAMETROS EFECTIVOS |       |       | COEFICIENTES |      |
|--------------|---------|---------|---------------------|-------|-------|--------------|------|
|              | GRAVA Y | LIMO Y  | D10                 | D30   | D60   | Cu           | Cc   |
|              | ARENA   | ARCILLA |                     |       |       |              |      |
| Calicata C-1 | 30.33%  | 69.67%  | 0.011               | 0.032 | 0.065 | 5.91         | 1.43 |
| Calicata C-2 | 38.10%  | 61.90%  | 0.012               | 0.036 | 0.073 | 6.08         | 1.48 |
| Calicata C-3 | 85.24%  | 14.76%  | 0.051               | 0.186 | 0.35  | 6.86         | 1.94 |
| Calicata C-4 | 48.90%  | 51.10%  | 0.015               | 0.044 | 0.122 | 8.13         | 1.06 |
| Calicata C-5 | 26.42%  | 73.58%  | 0.010               | 0.031 | 0.061 | 6.10         | 1.58 |

*Fuente: Elaboración Propia.*

Se detalla todos los parámetros y resultados obtenidos del análisis granulométrico de las cinco calicatas y junto con los resultados que se obtienen de los límites de consistencia nos serán de utilidad para la clasificación del suelo SUCS Y ASHHTO.



### 3.6.2. Ensayo de Límites de Consistencia

#### 3.6.2.1. Límite Líquido

##### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Se realizaron cinco ensayos, uno para el suelo natural, uno con la adición de 4% de cemento Portland y tres con la adición de 4% de Cemento + 1%, 2%, 4% de Estabilizador Z respectivamente.

El límite líquido se determina en cada espécimen para obtener su contenido de humedad usando la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de Humedad} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco al horno}} \times 100$$

#### 3.6.2.2. Límite Plástico

##### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

A partir de los ensayos realizados en límite Líquido, el cálculo del límite plástico se expresa como el promedio de las humedades de los 4 especímenes realizados por muestra. Se expresa como porcentaje de humedad, aproximado a un entero, como se muestra a continuación:

$$\text{Contenido de Humedad} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco al horno}} \times 100$$

$$\text{Límite Plástico} = \frac{W_1 + W_2 + \dots + W_n}{n}$$

Donde:

W: Humedad Natural

n: Número de puntos de humedad tomados

#### Cálculos de índice de plasticidad

El índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

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

I.P. = Índice de Plasticidad

L.L. = Límite líquido

L.P. = Límite plástico

Donde: L.L. y L.P., son números enteros.



### 3.6.2.3. Diagrama y tablas para su interpretación

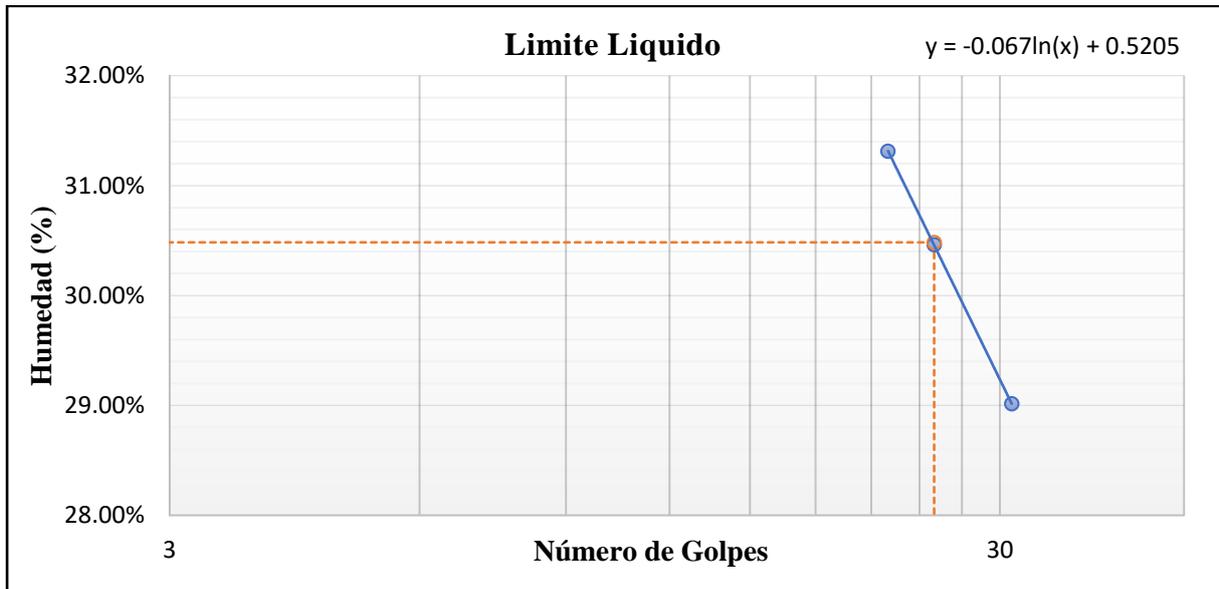
**Tabla 43.** Análisis de datos del ensayo límites de consistencia (Líquido y plástico) – Calicata C-1.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |   |
|---|---|
| <b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>  |   |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022. |
| <b>ENSAYO</b>   | LIMITE LIQUIDO/LIMITE PLASTICO  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 110 - DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 111 DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)  |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-1  |
| <b>FECHA</b>  | 22/03/2023  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |
| <b>LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318/AASHTO T-89 / MTC E-110)</b>   |   |
| N° TARRO  | LL-C1-1      LL-C1-2      LL-C1-3   |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 34.4      32.7      31  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 29.25      27.75      26.35   |
| AGUA (Gr)   | 5.15      4.95      4.65  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 11.5      11.5      11.5  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 17.75      16.25      14.85   |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  | 29%      30%      31%   |
| N° DE GOLPES  | 31      25      22  |
| <b>LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318/AASHTO T-90 / MTC E-111)</b>  |   |
| N° TARRO  | LP-C1-1      LP-C1-2      LP-C1-3      LP-C1-4  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 12.60      13.20      13.30      13.20  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 12.40      12.90      13.00      12.90  |
| AGUA (Gr)   | 0.20      0.30      0.30      0.30  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 11.40      11.40      11.40      11.40  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 1.00      1.50      1.60      1.50  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  | 20.00%      20.00%      18.75%      20.00%  |
| LIMITE PLASTICO (%)   | 19.69%  |
| <b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>   | 30.48%  |
| <b>LIMITE PLASTICO (%)</b>  | 19.69%  |
| <b>INDICE PLASTICO (%)</b>  | 10.80%  |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Figura 47.** Límite Líquido de Suelo Natural, Calicata C-1.



*Fuente: Elaboración Propia.*



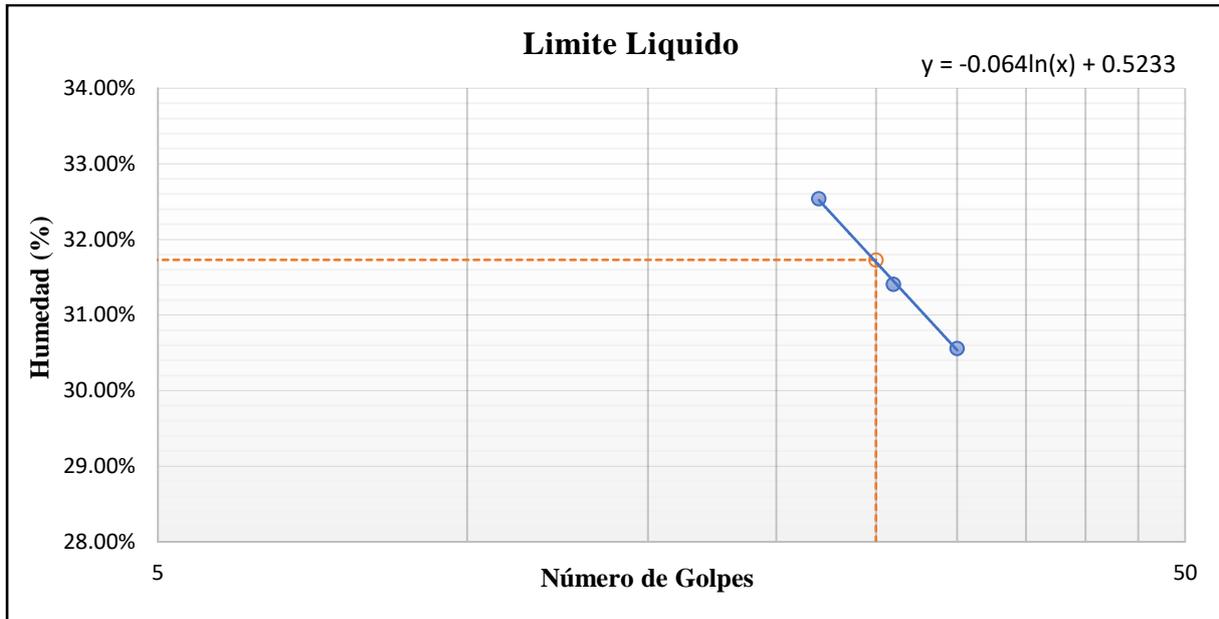
**Tabla 44.** Análisis de datos del ensayo límites de consistencia (Líquido y plástico) – Calicata, C-2.

|  |   | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>     |         |         |  |  |  |
|---|---|---|---------|---------|--|---|--|
|   |   | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA   |         |         |  |   |  |
|   |   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |         |         |  |   |  |
| <b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>  |   |   |         |         |  |   |  |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022. |   |         |         |  |   |  |
| <b>ENSAYO</b>   | LIMITE LIQUIDO/LIMITE PLASTICO  |   |         |         |  |   |  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 110 - DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 111 DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)  |   |         |         |  |   |  |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-2  |   |         |         |  |   |  |
| <b>FECHA</b>  | 22/03/2023  |   |         |         |  |   |  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |   |         |         |  |   |  |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |   |         |         |  |   |  |
| <b>LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318/AASHTO T-89 / MTC E-110)</b>                       |   |   |         |         |  |   |  |
| N° TARRO  | LL-C2-1   | LL-C2-2                                 | LL-C2-3 |         |  |   |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 30.2  | 29.6                                    | 28      |         |  |   |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 25.8  | 25.25                                   | 23.9    |         |  |   |  |
| AGUA (Gr)   | 4.4   | 4.35                                    | 4.1     |         |  |   |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 11.4  | 11.4                                    | 11.3    |         |  |   |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 14.4  | 13.85                                   | 12.6    |         |  |   |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  | 31%   | 31%                                     | 33%     |         |  |   |  |
| N° DE GOLPES  | 30  | 26                                      | 22      |         |  |   |  |
| <b>LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318/AASHTO T-90 / MTC E-111)</b>                      |   |   |         |         |  |   |  |
| N° TARRO  | LP-C2-1   | LP-C2-2                                 | LP-C2-3 | LP-C2-4 |  |   |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 13.00   | 12.90                                   | 12.90   | 13.20   |  |   |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 12.70   | 12.60                                   | 12.65   | 12.95   |  |   |  |
| AGUA (Gr)   | 0.30  | 0.30                                    | 0.25    | 0.25    |  |   |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 11.40   | 11.40                                   | 11.40   | 11.40   |  |   |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 1.30  | 1.20                                    | 1.25    | 1.55    |  |   |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  | 23.08%  | 25.00%                                  | 20.00%  | 16.13%  |  |   |  |
| LIMITE PLASTICO (%)   | 21.05%  |   |         |         |  |   |  |
| <b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>   | 31.73%  |   |         |         |  |   |  |
| <b>LIMITE PLASTICO (%)</b>  | 21.05%  |   |         |         |  |   |  |
| <b>INDICE PLASTICO (%)</b>  | 10.68%  |   |         |         |  |   |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Figura 48.** Límite Líquido de Suelo Natural, Calicata C-2.



*Fuente: Elaboración Propia.*



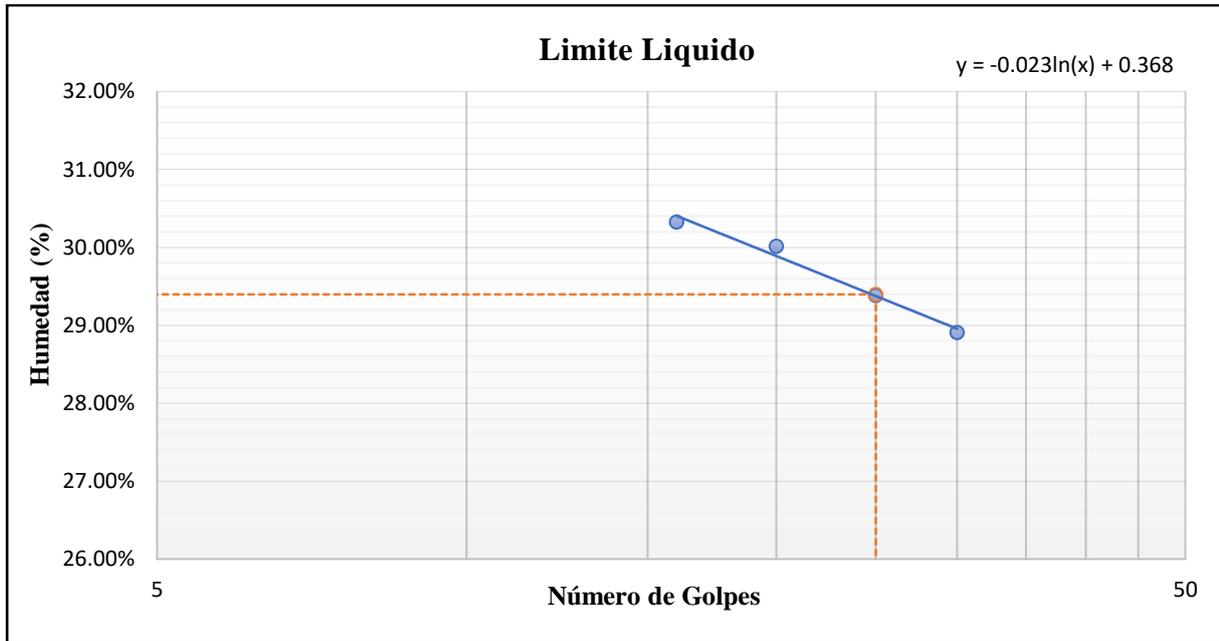
**Tabla 45.** Análisis de datos del ensayo límites de consistencia (Líquido y plástico) – Calicata C-5.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |   |         |         |         |  |
|---|---|---------|---------|---------|--|
| LIMITES DE CONSISTENCIA   |   |         |         |         |  |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022. |         |         |         |  |
| <b>ENSAYO</b>   | LIMITE LIQUIDO/LIMITE PLASTICO  |         |         |         |  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 110 - DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 111 DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)  |         |         |         |  |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-5  |         |         |         |  |
| <b>FECHA</b>  | 22/03/2023  |         |         |         |  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |         |         |         |  |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |         |         |         |  |
| LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318/AASHTO T-89 / MTC E-110)  |   |         |         |         |  |
| N° TARRO  | LL-C5-1   | LL-C5-2 | LL-C5-3 | LL-C5-4 |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 52.11   | 50.14   | 54.36   | 51.82   |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 47.34   | 45.65   | 49.18   | 47.27   |  |
| AGUA (Gr)   | 4.77  | 4.49    | 5.18    | 4.55    |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 31.61   | 30.69   | 31.55   | 31.53   |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 15.73   | 14.96   | 17.63   | 15.74   |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  | 30%   | 30%     | 29%     | 29%     |  |
| N° DE GOLPES  | 16  | 20      | 25      | 30      |  |
| LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318/AASHTO T-90 / MTC E-111)   |   |         |         |         |  |
| N° TARRO  | LP-C5-1   | LP-C5-2 | LP-C5-3 | LP-C5-4 |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 13.68   | 12.58   | 30.85   | 33.23   |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 13.39   | 12.33   | 30.57   | 32.96   |  |
| AGUA (Gr)   | 0.29  | 0.25    | 0.28    | 0.27    |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 12.07   | 11.24   | 29.22   | 31.69   |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 1.32  | 1.09    | 1.35    | 1.27    |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  | 21.97%  | 22.94%  | 20.74%  | 21.26%  |  |
| LIMITE PLASTICO (%)   | 21.73%  |         |         |         |  |
| <b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>   | 29.40%  |         |         |         |  |
| <b>LIMITE PLASTICO (%)</b>  | 21.73%  |         |         |         |  |
| <b>INDICE PLASTICO (%)</b>  | 7.67%   |         |         |         |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Figura 49.** Límite Líquido de Suelo Natural Calicata C-5.



*Fuente: Elaboración Propia.*



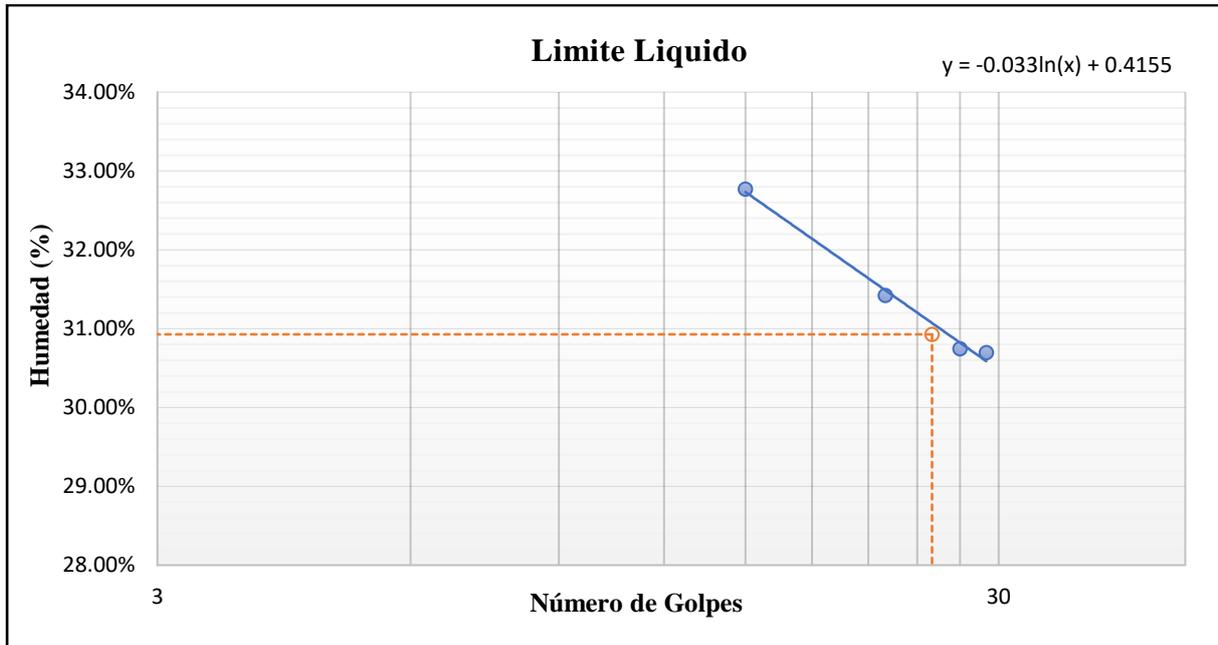
**Tabla 46.** Análisis de datos del ensayo límites de consistencia (Líquido y plástico) – Suelo Natural + 4% de Cemento Portland.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |   |        |        |        |  |
|---|---|--------|--------|--------|--|
| LIMITES DE CONSISTENCIA   |   |        |        |        |  |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECHANICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022. |        |        |        |  |
| <b>ENSAYO</b>   | LIMITE LIQUIDO/LIMITE PLASTICO  |        |        |        |  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 110 - DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 111 DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)  |        |        |        |  |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-5 + 4% CEMENTO PORTLAND IP   |        |        |        |  |
| <b>FECHA</b>  | 21/04/2023  |        |        |        |  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |        |        |        |  |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |        |        |        |  |
| LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318/AASHTO T-89 / MTC E-110)  |   |        |        |        |  |
| N° TARRO  | C-4-1   | C-4-2  | C-4-3  | C-4-4  |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 51.95   | 32.08  | 51.13  | 51.41  |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 46.71   | 27.1   | 46.34  | 46.64  |  |
| AGUA (Gr)   | 5.24  | 4.98   | 4.79   | 4.77   |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 30.72   | 11.25  | 30.76  | 31.1   |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 15.99   | 15.85  | 15.58  | 15.54  |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  | 33%   | 31%    | 31%    | 31%    |  |
| N° DE GOLPES  | 15  | 22     | 27     | 29     |  |
| LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318/AASHTO T-90 / MTC E-111)   |   |        |        |        |  |
| N° TARRO  | CP-4-1  | CP-4-2 | CP-4-3 | CP-4-4 |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 32.45   | 32.86  | 32.42  | 33.38  |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 32.19   | 32.58  | 32.14  | 33.09  |  |
| AGUA (Gr)   | 0.26  | 0.28   | 0.28   | 0.29   |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 31.08   | 31.32  | 30.90  | 31.87  |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 1.11  | 1.26   | 1.24   | 1.22   |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  | 23.42%  | 22.22% | 22.58% | 23.77% |  |
| LIMITE PLASTICO (%)   | 23.00%  |        |        |        |  |
| <b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>   | 30.93%  |        |        |        |  |
| <b>LIMITE PLASTICO (%)</b>  | 23.00%  |        |        |        |  |
| <b>INDICE PLASTICO (%)</b>  | 7.93%   |        |        |        |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Figura 50.** Límite Líquido de Suelo Natural + 4% Cemento Portland.



*Fuente: Elaboración Propia.*



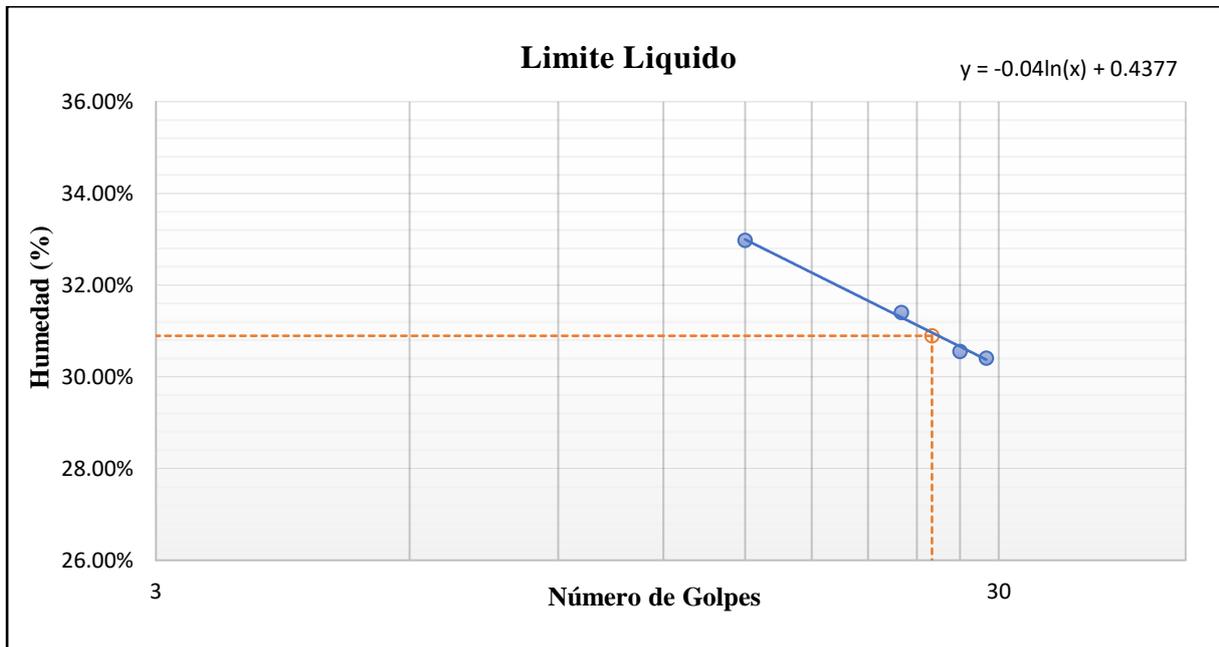
**Tabla 47.** Análisis de datos del ensayo límites de consistencia (Líquido y plástico) – Suelo Natural + 4% de Cemento Portland + 1% de Estabilizador Z.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |   |        |        |        |  |
|---|---|--------|--------|--------|--|
| LIMITES DE CONSISTENCIA   |   |        |        |        |  |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022. |        |        |        |  |
| <b>ENSAYO</b>   | LIMITE LIQUIDO/LIMITE PLASTICO  |        |        |        |  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 110 - DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 111 DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)  |        |        |        |  |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-5 + 4% CEMENTO + 1% ESTABILIZADOR Z  |        |        |        |  |
| <b>FECHA</b>  | 21/04/2023  |        |        |        |  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |        |        |        |  |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |        |        |        |  |
| LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318/AASHTO T-89 / MTC E-110)  |   |        |        |        |  |
| N° TARRO  | C-1-1   | C-1-2  | C-1-3  | C-1-4  |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 32.2  | 32.21  | 51.42  | 53.33  |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 27.03   | 27.23  | 46.56  | 48.17  |  |
| AGUA (Gr)   | 5.17  | 4.98   | 4.86   | 5.16   |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 11.35   | 11.37  | 30.65  | 31.2   |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 15.68   | 15.86  | 15.91  | 16.97  |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  | 33%   | 31%    | 31%    | 30%    |  |
| N° DE GOLPES  | 15  | 23     | 27     | 29     |  |
| LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318/AASHTO T-90 / MTC E-111)   |   |        |        |        |  |
| N° TARRO  | CP-1-1  | CP-1-2 | CP-1-3 | CP-1-4 |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 12.82   | 13.39  | 13.07  | 13.06  |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 12.55   | 13.05  | 12.77  | 12.77  |  |
| AGUA (Gr)   | 0.27  | 0.34   | 0.30   | 0.29   |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 11.32   | 11.59  | 11.46  | 11.39  |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 1.23  | 1.46   | 1.31   | 1.38   |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  | 21.95%  | 23.29% | 22.90% | 21.01% |  |
| LIMITE PLASTICO (%)   | 22.29%  |        |        |        |  |
| <b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>   | 30.89%  |        |        |        |  |
| <b>LIMITE PLASTICO (%)</b>  | 22.29%  |        |        |        |  |
| <b>INDICE PLASTICO (%)</b>  | 8.61%   |        |        |        |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Figura 51.** Límite Líquido de Suelo Natural + 4% Cemento Portland + 1% de Estabilizador Z.



*Fuente: Elaboración Propia.*



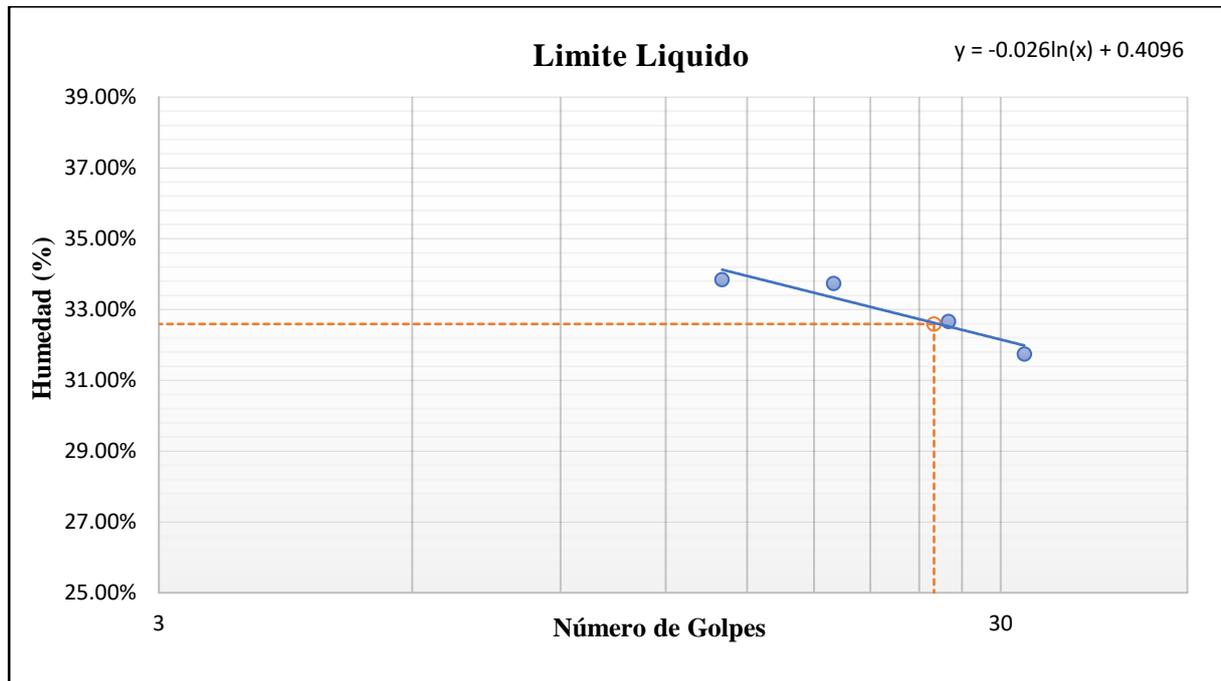
**Tabla 48.** Análisis de datos del ensayo límites de consistencia (Líquido y plástico) – Suelo Natural + 4% de Cemento Portland + 2% de Estabilizador Z.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |   |        |        |        |  |
|---|---|--------|--------|--------|--|
| LIMITES DE CONSISTENCIA   |   |        |        |        |  |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022. |        |        |        |  |
| <b>ENSAYO</b>   | LIMITE LIQUIDO/LIMITE PLASTICO  |        |        |        |  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 110 - DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 111 DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)  |        |        |        |  |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-5 + 4% CEMENTO + 2% ESTABILIZADOR Z  |        |        |        |  |
| <b>FECHA</b>  | 21/04/2023  |        |        |        |  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |        |        |        |  |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |        |        |        |  |
| LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318/AASHTO T-89 / MTC E-110)  |   |        |        |        |  |
| N° TARRO  | C-2-1   | C-2-2  | C-2-3  | C-2-4  |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 51.56   | 51.26  | 53.46  | 51.67  |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 46.25   | 46.15  | 47.84  | 46.56  |  |
| AGUA (Gr)   | 5.31  | 5.11   | 5.62   | 5.11   |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 30.56   | 31     | 30.63  | 30.46  |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 15.69   | 15.15  | 17.21  | 16.1   |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  | 34%   | 34%    | 33%    | 32%    |  |
| N° DE GOLPES  | 14  | 19     | 26     | 32     |  |
| LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318/AASHTO T-90 / MTC E-111)   |   |        |        |        |  |
| N° TARRO  | CP-2-1  | CP-2-2 | CP-2-3 | CP-2-4 |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 32.48   | 31.73  | 31.88  | 32.31  |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 32.20   | 31.43  | 31.58  | 31.98  |  |
| AGUA (Gr)   | 0.28  | 0.30   | 0.30   | 0.33   |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 30.92   | 30.17  | 30.33  | 30.62  |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 1.28  | 1.26   | 1.25   | 1.36   |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  | 21.87%  | 23.81% | 24.00% | 24.26% |  |
| LIMITE PLASTICO (%)   | 23.49%  |        |        |        |  |
| <b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>   | 32.59%  |        |        |        |  |
| <b>LIMITE PLASTICO (%)</b>  | 23.49%  |        |        |        |  |
| <b>INDICE PLASTICO (%)</b>  | 9.10%   |        |        |        |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Figura 52.** Límite Líquido de Suelo Natural + 4% Cemento Portland + 2% de Estabilizador Z.



*Fuente: Elaboración Propia.*



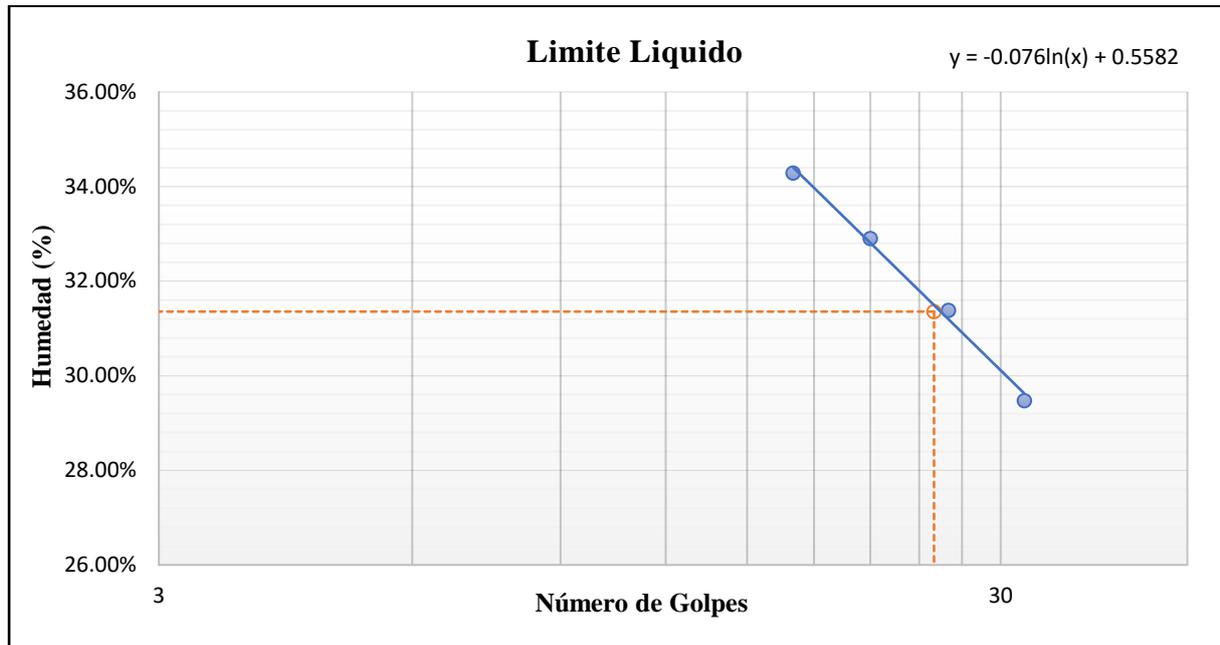
**Tabla 49.** Análisis de datos del ensayo límites de consistencia (Líquido y plástico) – Suelo Natural + 4% de Cemento Portland + 4% de Estabilizador Z.

|  <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |   |        |        |        |  |
|---|---|--------|--------|--------|--|
| LIMITES DE CONSISTENCIA   |   |        |        |        |  |
| <b>TESIS</b>  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022. |        |        |        |  |
| <b>ENSAYO</b>   | LIMITE LIQUIDO/LIMITE PLASTICO  |        |        |        |  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 110 - DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 111 DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)  |        |        |        |  |
| <b>MUESTRA</b>  | CALICATA C-5 + 4% CEMENTO + 4% ESTABILIZADOR Z  |        |        |        |  |
| <b>FECHA</b>  | 21/04/2023  |        |        |        |  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |        |        |        |  |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |        |        |        |  |
| LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318/AASHTO T-89 / MTC E-110)  |   |        |        |        |  |
| N° TARRO  | C-4-1   | C-4-2  | C-4-3  | C-4-4  |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 32.61   | 32.91  | 32.16  | 32.81  |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 27.21   | 27.58  | 27.18  | 27.95  |  |
| AGUA (Gr)   | 5.4   | 5.33   | 4.98   | 4.86   |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 11.46   | 11.38  | 11.31  | 11.46  |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 15.75   | 16.2   | 15.87  | 16.49  |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  | 34%   | 33%    | 31%    | 29%    |  |
| N° DE GOLPES  | 17  | 21     | 26     | 32     |  |
| LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318/AASHTO T-90 / MTC E-111)   |   |        |        |        |  |
| N° TARRO  | CP-4-1  | CP-4-2 | CP-4-3 | CP-4-4 |  |
| TARRO+SUELO HUMEDO (Gr)   | 12.95   | 13.02  | 13.05  | 12.64  |  |
| TARRO+SUELO SECO (Gr)   | 12.65   | 12.70  | 12.70  | 12.36  |  |
| AGUA (Gr)   | 0.30  | 0.32   | 0.35   | 0.28   |  |
| PESO DEL TARRO (Gr)   | 11.40   | 11.48  | 11.48  | 11.26  |  |
| PESO DE SUELO SECO (Gr)   | 1.25  | 1.22   | 1.22   | 1.10   |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  | 24.00%  | 26.23% | 28.69% | 25.45% |  |
| LIMITE PLASTICO (%)   | 26.09%  |        |        |        |  |
| <b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>   | 31.36%  |        |        |        |  |
| <b>LIMITE PLASTICO (%)</b>  | 26.09%  |        |        |        |  |
| <b>INDICE PLASTICO (%)</b>  | 5.26%   |        |        |        |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Figura 53.** Límite Líquido de Suelo Natural + 4% Cemento Portland + 4% de Estabilizador Z.



*Fuente: Elaboración Propia.*

**b) Comentario de los resultados obtenidos en la prueba**

Según las tablas y figuras presentadas acerca del estudio de Límites de consistencia, los resultados se muestran en una tabla resumen a continuación:

**Tabla 50.** Tabla resumen de resultados de Límites de Consistencia, Suelo Natural de las Calicatas.

| DESCRIPCION        | LIMITE LIQUIDO | LIMITE PLASTICO | INDICE DE PLASTICIDAD |
|--------------------|----------------|-----------------|-----------------------|
| Suelo Calicata C-1 | 30.48%         | 19.69%          | 10.80%                |
| Suelo Calicata C-2 | 31.73%         | 21.05%          | 10.68%                |
| Suelo Calicata C-3 | 0.00%          | 0.00%           | 0.00%                 |
| Suelo Calicata C-4 | 0.00%          | 0.00%           | 0.00%                 |
| Suelo Calicata C-5 | 29.40%         | 21.73%          | 7.67%                 |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Nota:** De la Tabla 46, El suelo de la Calicata C-3 y C-4 no presentan Limites de Consistencia al ser suelos de estrato arenoso limoso.

Según Clasificación SUCS y ASSHTO, en función a los ensayos de Limites de Consistencia y granulometría, se define su clasificación como lo que indica la tabla resumen siguiente:

| DESCRIPCION        | CLASIFICACION SUCS                     | CLASIFICACION ASSHTO                   |
|--------------------|--|--|
| Suelo Calicata C-1 | Arcilla media plasticidad arenosa CL   | Suelo Arcilloso A-6                    |
| Suelo Calicata C-2 | Arcilla media plasticidad arenosa CL   | Suelo Arcilloso A-6                    |
| Suelo Calicata C-3 | Arena Limosa SM                        | Grava y arena arcillosa o limosa A-2-4 |
| Suelo Calicata C-4 | Limo Baja plasticidad arenoso ML       | Suelo Limoso A-4                       |
| Suelo Calicata C-5 | Arcilla media plasticidad con arena CL | Suelo Arcilloso A-6                    |

*Fuente: Elaboración Propia.*

Se observa la clasificación de las cinco calicatas que fueron sometidas a los ensayos de Limites de Consistencia y Granulometría, obteniendo como suelo más desfavorable y con peores características al suelo de la Calicata C-5, en el cual se trabajó y realizaron los demás ensayos correspondientes.

**Tabla 51.** Tabla resumen de resultados de Limites de Consistencia. Suelo Natural con la Adición de Cemento y Estabilizador Z.

| DESCRIPCION                                     | LIMITE LIQUIDO | LIMITE PLASTICO | INDICE DE PLASTICIDAD |
|---|----------------|-----------------|-----------------------|
| Suelo Natural                                   | 29.40%         | 21.73%          | 7.67%                 |
| Suelo Natural + 4% Cemento                      | 30.93%         | 23.00%          | 7.93%                 |
| Suelo Natural + 4% Cemento + 1% Estabilizador Z | 30.89%         | 22.29%          | 8.61%                 |
| Suelo Natural + 4% Cemento + 2% Estabilizador Z | 32.59%         | 23.49%          | 9.10%                 |
| Suelo Natural + 4% Cemento + 4% Estabilizador Z | 31.36%         | 26.09%          | 5.26%                 |

*Fuente: Elaboración Propia.*



### 3.6.3. Ensayo de Proctor Modificado

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

El grado de compactación de suelos se representa con el ensayo de Proctor modificado. Primero calculamos el contenido de humedad en porcentaje con la siguiente ecuación:

$$W(\%) = \frac{W_h - W_s}{W_s - W_r} * 100$$

Donde:

W (%): Contenido de Humedad

W<sub>r</sub>: Peso del recipiente

W<sub>h</sub>: Peso de Recipiente + Suelo Húmedo

W<sub>s</sub>: Peso de Recipiente + Suelo Seco

Procedemos con el cálculo de la Densidad Húmeda de la muestra.

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

Donde:

$\rho_{hum}$ : Densidad Húmeda

W<sub>hum</sub>: Peso de la muestra húmeda

V: Volumen del molde Proctor.

Se realiza también el cálculo de la Densidad Seca:

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

Donde:

$\rho_s$ : Densidad Seca

W: Porcentaje de Humedad.



### 3.6.3.1. Diagrama y tablas para su interpretación

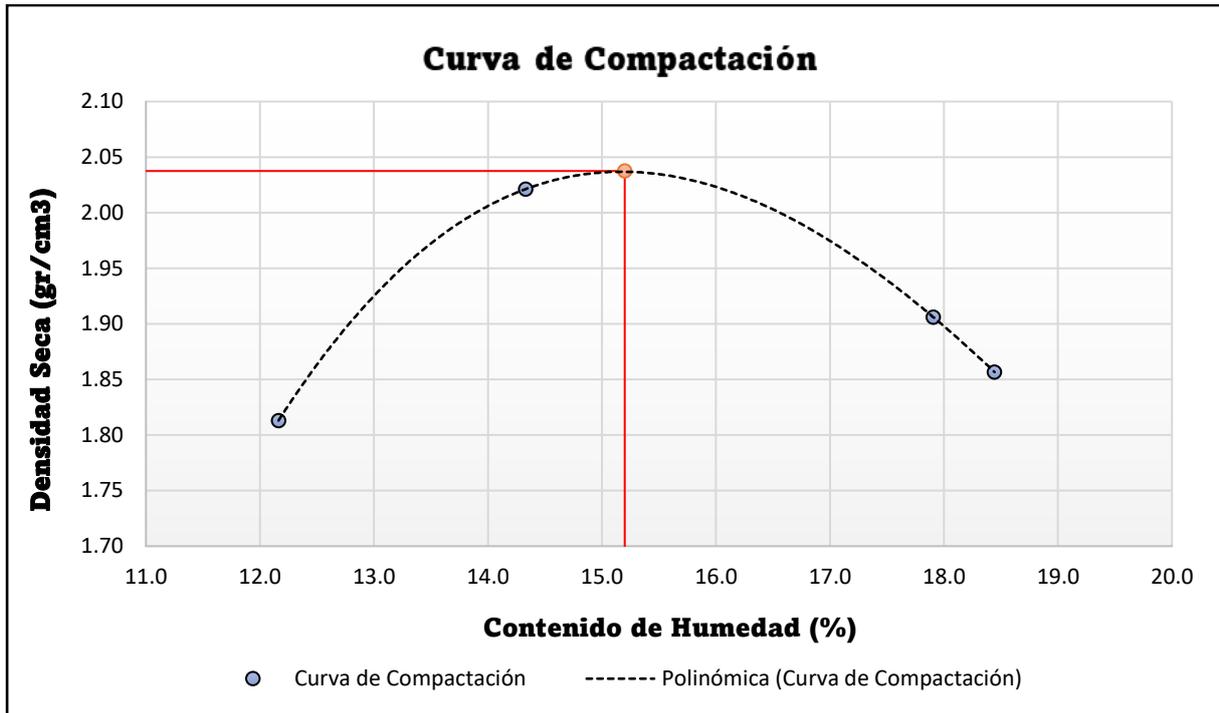
**Tabla 52.** Análisis de datos del ensayo de Proctor modificado, Suelo Natural

|  |   | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO            |                            |  |  |
|---|---|---|----------------------------|---|--|
|   |   | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA   |                            |   |  |
|   |   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                            |   |  |
| PROCTOR MODIFICADO  |   |   |                            |   |  |
| <b>TESIS</b>  | 'INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022". |   |                            |   |  |
| <b>ENSAYO</b>   | PROCTOR MODIFICADO  |   |                            |   |  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 115 - COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO ENERGIA MODIFICADA   |   |                            |   |  |
| <b>MUESTRA</b>  | SUELO NATURAL - C-5   |   |                            |   |  |
| <b>FECHA</b>  | 27/03/2023  |   |                            |   |  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |   |                            |   |  |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |   |                            |   |  |
| DATOS PRELIMINARES  |   |   |                            |   |  |
| <b>METODO DE COMPACTACION</b>   | A   |   | <b>DATOS DE MOLDE</b>      |   |  |
| <b>N° DE CAPAS</b>  | 5   |   | <b>DIAMETRO (CM)</b>       | 10.17   |  |
| <b>MOLDE</b>  | 4"  |   | <b>ALTURA (CM)</b>         | 11.68   |  |
|   |   |   | <b>VOLUMEN (CM3)</b>       | 948.80  |  |
|   |   |   | <b>PESO DEL MOLDE (GR)</b> | 4138.90   |  |
| DENSIDAD HUMEDA   |   |   |                            |   |  |
| <b>PRUEBA N°</b>  | 1   | 2                                       | 3                          | 4   |  |
| <b>PESO DE MOLDE (gr)</b>   | 4138.90   | 4138.90                                 | 4138.90                    | 4138.90   |  |
| <b>PESO DE MOLDE + PESO SUELO COMPACTADO</b>                                      | 6068.30   | 6331.50                                 | 6271.20                    | 6225.40   |  |
| <b>PESO DE SUELO COMPACTADO (gr)</b>  | 1929.40   | 2192.60                                 | 2132.30                    | 2086.50   |  |
| <b>VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)</b>  | 948.80  | 948.80                                  | 948.80                     | 948.80  |  |
| <b>DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)</b>   | 2.03  | 2.31                                    | 2.25                       | 2.20  |  |
| <b>DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>   | 1.81  | 2.02                                    | 1.91                       | 1.86  |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD  |   |   |                            |   |  |
| <b>PRUEBA N°</b>  | 1   | 2                                       | 3                          | 4   |  |
| <b>PESO DE LA TARA (gr)</b>   | 131.40  | 107.30                                  | 111.00                     | 110.40  |  |
| <b>PESO DE LA TARA + SUELO HUMEDO (gr)</b>  | 742.80  | 607.50                                  | 732.60                     | 693.50  |  |
| <b>PESO DE LA TARA + SUELO SECO (gr)</b>  | 676.50  | 544.80                                  | 638.20                     | 602.70  |  |
| <b>PESO DE SUELO SECO (gr)</b>  | 545.10  | 437.50                                  | 527.20                     | 492.30  |  |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>   | 12.16   | 14.33                                   | 17.91                      | 18.44   |  |
| <b>DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>   | 1.81  | 2.02                                    | 1.91                       | 1.86  |  |
| <b>DENSIDAD MAXIMA SECA (gr/cm3)</b>  | 2.04  |   |                            |   |  |
| <b>CONTENIDO OPTIMO DE HUMEDAD (%)</b>  | 15.20   |   |                            |   |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*



Figura 54. Grafica de Proctor Modificado, Suelo Natural.



*Fuente: Elaboración Propia.*

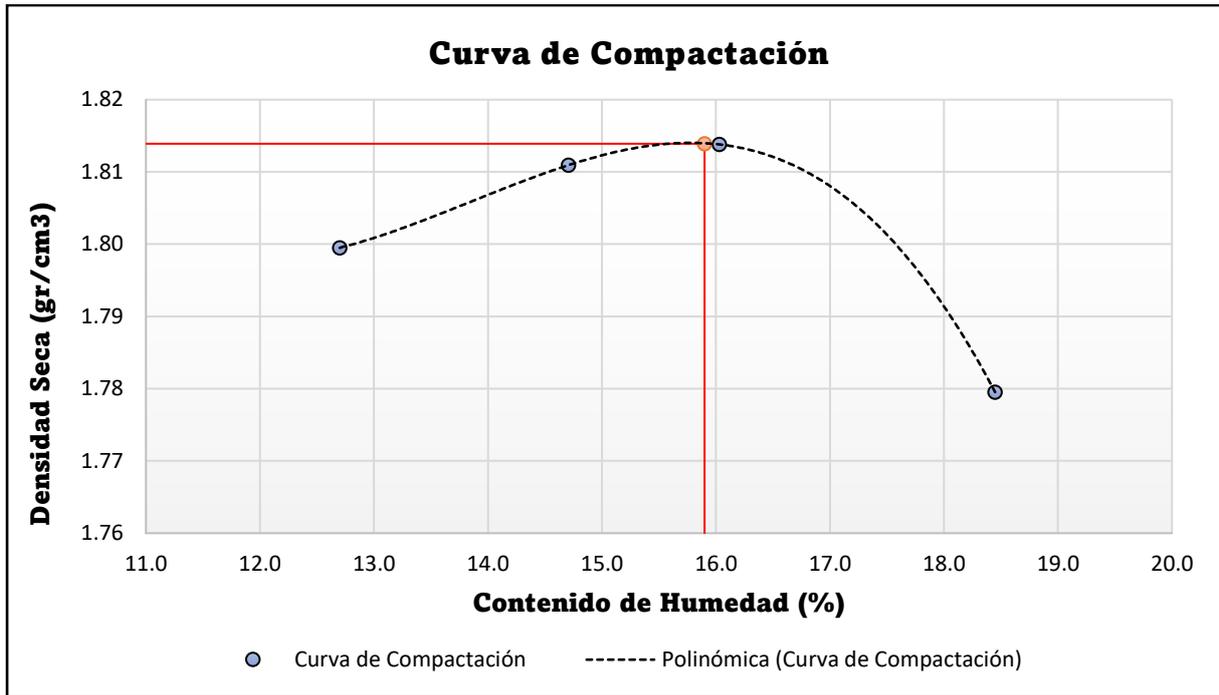


**Tabla 53.** Análisis de datos del ensayo de Proctor modificado, Suelo Natural + 4% Cemento Portland IP.

|  |  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>     |         |                            |         |  |  |
|---|--|---|---------|----------------------------|---------|---|--|
|   |  | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA   |         |                            |         |   |  |
|   |  | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |         |                            |         |   |  |
| <b>PROCTOR MODIFICADO</b>   |  |   |         |                            |         |   |  |
| <b>TESIS</b>  | 'INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022''. |   |         |                            |         |   |  |
| <b>ENSAYO</b>   | PROCTOR MODIFICADO   |   |         |                            |         |   |  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 115 - COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO ENERGIA MODIFICADA  |   |         |                            |         |   |  |
| <b>MUESTRA</b>  | SUELO NATURAL + 4% CEMENTO   |   |         |                            |         |   |  |
| <b>FECHA</b>  | 10/04/2023   |   |         |                            |         |   |  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |   |         |                            |         |   |  |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |   |         |                            |         |   |  |
| <b>DATOS PRELIMINARES</b>   |  |   |         |                            |         |   |  |
| <b>METODO DE COMPACTACION</b>   |  | A                                       |         | <b>DATOS DE MOLDE</b>      |         |   |  |
| <b>N° DE CAPAS</b>  |  |   | 5       | <b>DIAMETRO (CM)</b>       | 10.17   |   |  |
| <b>MOLDE</b>  |  |   | 4"      | <b>ALTURA (CM)</b>         | 11.68   |   |  |
|   |  |   |         | <b>VOLUMEN (CM3)</b>       | 948.80  |   |  |
|   |  |   |         | <b>PESO DEL MOLDE (GR)</b> | 4223.00 |   |  |
| <b>DENSIDAD HUMEDA</b>  |  |   |         |                            |         |   |  |
| <b>PRUEBA N°</b>  | 1  | 2                                       | 3       | 4                          |         |   |  |
| <b>PESO DE MOLDE (gr)</b>   | 4223.00  | 4223.00                                 | 4223.00 | 4223.00                    |         |   |  |
| <b>PESO DE MOLDE + PESO SUELO COMPACTADO</b>                                      | 6147.20  | 6193.90                                 | 6219.80 | 6222.90                    |         |   |  |
| <b>PESO DE SUELO COMPACTADO (gr)</b>  | 1924.20  | 1970.90                                 | 1996.80 | 1999.90                    |         |   |  |
| <b>VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)</b>  | 948.80   | 948.80                                  | 948.80  | 948.80                     |         |   |  |
| <b>DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)</b>   | 2.03   | 2.08                                    | 2.10    | 2.11                       |         |   |  |
| <b>DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>   | 1.80   | 1.81                                    | 1.81    | 1.78                       |         |   |  |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>   |  |   |         |                            |         |   |  |
| <b>PRUEBA N°</b>  | 1  | 2                                       | 3       | 4                          |         |   |  |
| <b>PESO DE LA TARA (gr)</b>   | 89.00  | 81.60                                   | 159.00  | 109.60                     |         |   |  |
| <b>PESO DE LA TARA + SUELO HUMEDO (gr)</b>  | 597.50   | 615.90                                  | 687.40  | 731.10                     |         |   |  |
| <b>PESO DE LA TARA + SUELO SECO (gr)</b>  | 540.20   | 547.40                                  | 614.40  | 634.30                     |         |   |  |
| <b>PESO DE SUELO SECO (gr)</b>  | 451.20   | 465.80                                  | 455.40  | 524.70                     |         |   |  |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>   | 12.70  | 14.71                                   | 16.03   | 18.45                      |         |   |  |
| <b>DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>   | 1.80   | 1.81                                    | 1.81    | 1.78                       |         |   |  |
| <b>DENSIDAD MAXIMA SECA (gr/cm3)</b>  | 1.814  |   |         |                            |         |   |  |
| <b>CONTENIDO OPTIMO DE HUMEDAD (%)</b>  | 15.90  |   |         |                            |         |   |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*

Figura 55. Grafica de Proctor Modificado, Suelo Natural + 4% Cemento Portland Tipo IP.



*Fuente: Elaboración Propia.*



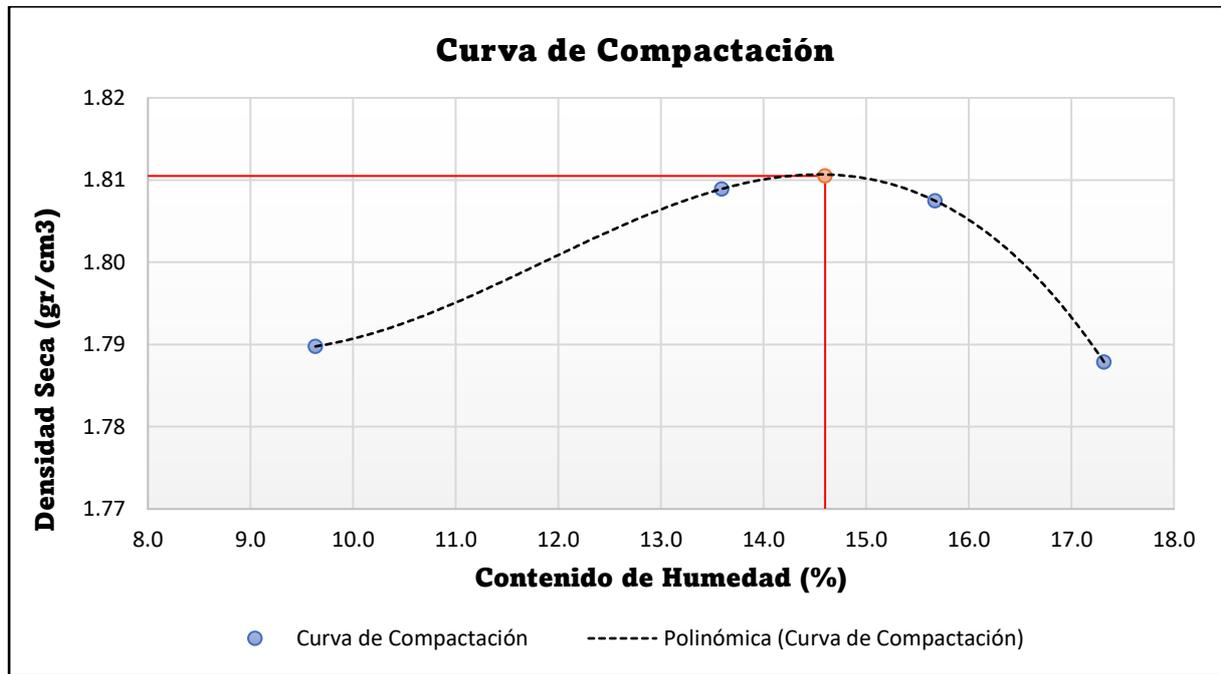
**Tabla 54.** Análisis de datos del ensayo de Proctor modificado, Suelo Natural + 4% Cemento Portland IP + 1% Estabilizador Z.

|  |   | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>     |                            |         |  |  |         |
|---|---|---|----------------------------|---------|--|---|---------|
|   |   | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA   |                            |         |  |   |         |
|   |   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                            |         |  |   |         |
| <b>PROCTOR MODIFICADO</b>   |   |   |                            |         |  |   |         |
| <b>TESIS</b>  | 'INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022". |   |                            |         |  |   |         |
| <b>ENSAYO</b>   | PROCTOR MODIFICADO  |   |                            |         |  |   |         |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 115 - COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO ENERGIA MODIFICADA   |   |                            |         |  |   |         |
| <b>MUESTRA</b>  | SUELO NATURAL + 4% CEMENTO + 1% ESTABILIZADOR Z   |   |                            |         |  |   |         |
| <b>FECHA</b>  | 10/04/2023  |   |                            |         |  |   |         |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |   |                            |         |  |   |         |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |   |                            |         |  |   |         |
| <b>DATOS PRELIMINARES</b>   |   |   |                            |         |  |   |         |
| <b>METODO DE COMPACTACION</b>   | A   |   | <b>DATOS DE MOLDE</b>      |         |  |   |         |
| <b>N° DE CAPAS</b>  | 5   |   | <b>DIAMETRO (CM)</b>       |         |  |   | 10.17   |
| <b>MOLDE</b>  | 4"  |   | <b>ALTURA (CM)</b>         |         |  |   | 11.68   |
|   |   |   | <b>VOLUMEN (CM3)</b>       |         |  |   | 948.80  |
|   |   |   | <b>PESO DEL MOLDE (GR)</b> |         |  |   | 4223.00 |
| <b>DENSIDAD HUMEDA</b>  |   |   |                            |         |  |   |         |
| <b>PRUEBA N°</b>  | 1   | 2                                       | 3                          | 4       |  |   |         |
| <b>PESO DE MOLDE (gr)</b>   | 4223.00   | 4223.00                                 | 4223.00                    | 4223.00 |  |   |         |
| <b>PESO DE MOLDE + PESO SUELO COMPACTADO</b>                                      | 6084.70   | 6172.60                                 | 6206.70                    | 6213.10 |  |   |         |
| <b>PESO DE SUELO COMPACTADO (gr)</b>  | 1861.70   | 1949.60                                 | 1983.70                    | 1990.10 |  |   |         |
| <b>VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)</b>  | 948.80  | 948.80                                  | 948.80                     | 948.80  |  |   |         |
| <b>DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)</b>   | 1.96  | 2.05                                    | 2.09                       | 2.10    |  |   |         |
| <b>DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>   | 1.79  | 1.81                                    | 1.81                       | 1.79    |  |   |         |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>   |   |   |                            |         |  |   |         |
| <b>PRUEBA N°</b>  | 1   | 2                                       | 3                          | 4       |  |   |         |
| <b>PESO DE LA TARA (gr)</b>   | 53.20   | 81.80                                   | 119.90                     | 78.20   |  |   |         |
| <b>PESO DE LA TARA + SUELO HUMEDO (gr)</b>  | 577.90  | 618.30                                  | 662.40                     | 600.50  |  |   |         |
| <b>PESO DE LA TARA + SUELO SECO (gr)</b>  | 531.80  | 554.10                                  | 588.90                     | 523.40  |  |   |         |
| <b>PESO DE SUELO SECO (gr)</b>  | 478.60  | 472.30                                  | 469.00                     | 445.20  |  |   |         |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>   | 9.63  | 13.59                                   | 15.67                      | 17.32   |  |   |         |
| <b>DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>   | 1.79  | 1.81                                    | 1.81                       | 1.79    |  |   |         |
|   |   |   |                            |         |  |   |         |
| <b>DENSIDAD MAXIMA SECA (gr/cm3)</b>  | 1.811   |   |                            |         |  |   |         |
| <b>CONTENIDO OPTIMO DE HUMEDAD (%)</b>  | 14.60   |   |                            |         |  |   |         |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Figura 56.** Grafica de Proctor Modificado, Suelo Natural + 4% Cemento Portland Tipo IP + 1% Estabilizador Z.



*Fuente: Elaboración Propia.*



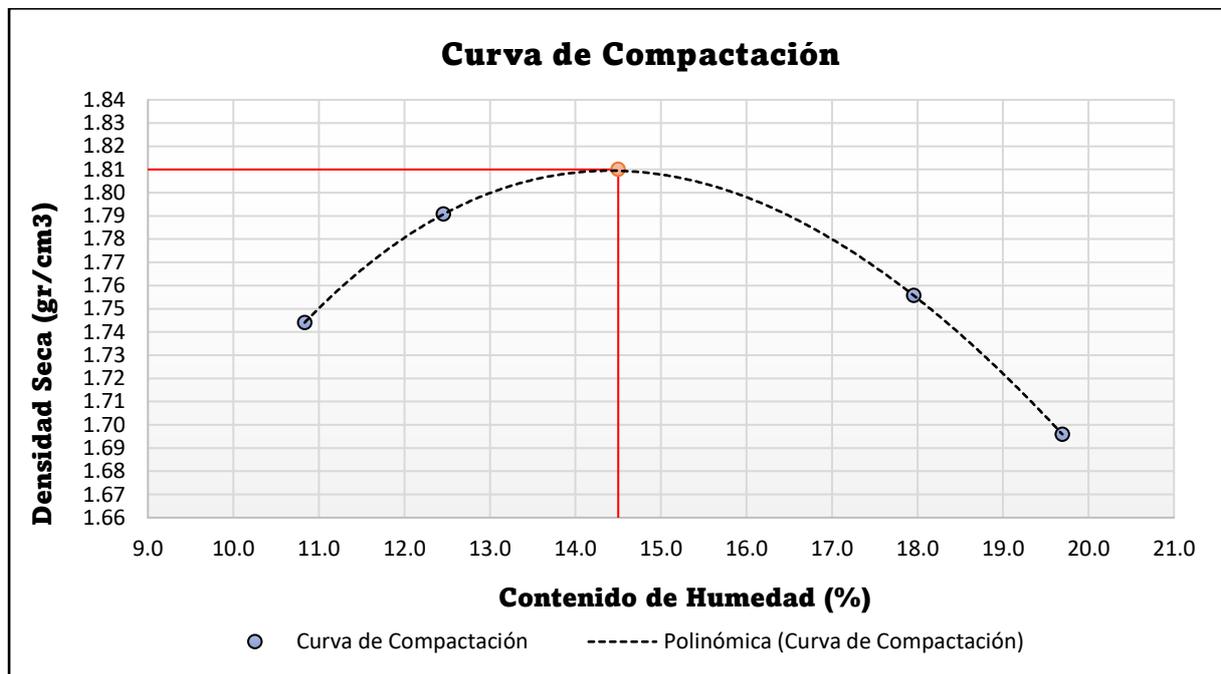
**Tabla 55.** Análisis de datos del ensayo de Proctor modificado, Suelo Natural + 4% Cemento Portland IP + 2% Estabilizador Z.

|  |   | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO            |         |         |  |  |
|---|---|---|---------|---------|--|---|
|   |   | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA   |         |         |  |   |
|   |   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |         |         |  |   |
| PROCTOR MODIFICADO  |   |   |         |         |  |   |
| TESIS   | 'INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022". |   |         |         |  |   |
| ENSAYO  | PROCTOR MODIFICADO  |   |         |         |  |   |
| REFERENCIA  | MTC E 115 - COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO ENERGIA MODIFICADA   |   |         |         |  |   |
| MUESTRA   | SUELO NATURAL + 4% CEMENTO + 2% ESTABILIZADOR Z   |   |         |         |  |   |
| FECHA   | 17/04/2023  |   |         |         |  |   |
| LUGAR:  | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |   |         |         |  |   |
| TESISTAS  | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |   |         |         |  |   |
| DATOS PRELIMINARES  |   |   |         |         |  |   |
| METODO DE COMPACTACION  | A   | DATOS DE MOLDE                          |         |         |  |   |
| N° DE CAPAS   | 5   | DIAMETRO (CM)                           | 10.17   |         |  |   |
| MOLDE   | 4"  | ALTURA (CM)                             | 11.68   |         |  |   |
|   |   | VOLUMEN (CM3)                           | 948.80  |         |  |   |
|   |   | PESO DEL MOLDE (GR)                     | 4223.00 |         |  |   |
| DENSIDAD HUMEDA   |   |   |         |         |  |   |
| PRUEBA N°   | 1   | 2                                       | 3       | 4       |  |   |
| PESO DE MOLDE (gr)  | 4223.00   | 4223.00                                 | 4223.00 | 4223.00 |  |   |
| PESO DE MOLDE + PESO SUELO COMPACTADO   | 6057.00   | 6133.70                                 | 6187.90 | 6149.00 |  |   |
| PESO DE SUELO COMPACTADO (gr)   | 1834.00   | 1910.70                                 | 1964.90 | 1926.00 |  |   |
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)   | 948.80  | 948.80                                  | 948.80  | 948.80  |  |   |
| DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)  | 1.93  | 2.01                                    | 2.07    | 2.03    |  |   |
| DENSIDAD SECA (gr/cm3)  | 1.74  | 1.79                                    | 1.76    | 1.70    |  |   |
| CONTENIDO DE HUMEDAD  |   |   |         |         |  |   |
| PRUEBA N°   | 1   | 2                                       | 3       | 4       |  |   |
| PESO DE LA TARA (gr)  | 150.30  | 81.50                                   | 109.70  | 108.00  |  |   |
| PESO DE LA TARA + SUELO HUMEDO (gr)   | 780.50  | 610.50                                  | 638.50  | 618.50  |  |   |
| PESO DE LA TARA + SUELO SECO (gr)   | 718.90  | 551.90                                  | 558.00  | 534.50  |  |   |
| PESO DE SUELO SECO (gr)   | 568.60  | 470.40                                  | 448.30  | 426.50  |  |   |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)  | 10.83   | 12.46                                   | 17.96   | 19.70   |  |   |
| DENSIDAD SECA (gr/cm3)  | 1.74  | 1.79                                    | 1.76    | 1.70    |  |   |
|   |   |   |         |         |  |   |
|   |   |   |         |         |  |   |
| DENSIDAD MAXIMA SECA (gr/cm3)   | 1.81  |   |         |         |  |   |
| CONTENIDO OPTIMO DE HUMEDAD (%)   | 14.50   |   |         |         |  |   |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Figura 57.** Grafica de Proctor Modificado, Suelo Natural + 4% Cemento Portland Tipo IP + 2% Estabilizador Z.



*Fuente: Elaboración Propia.*

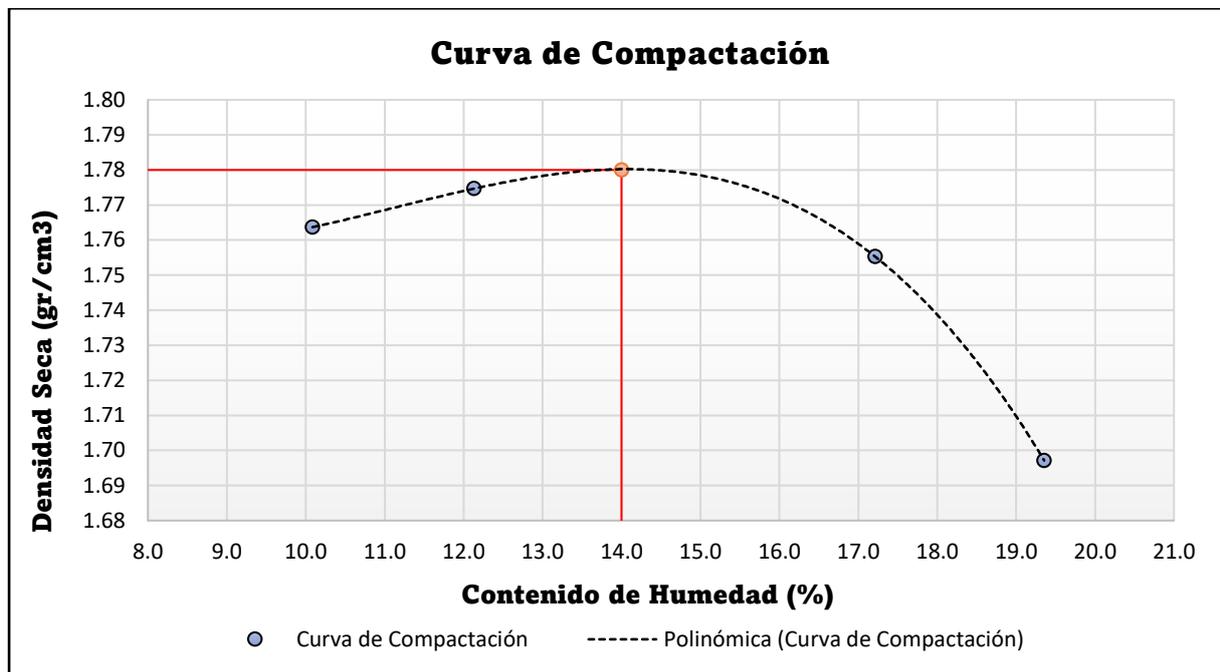


**Tabla 56.** Análisis de datos del ensayo de Proctor modificado, Suelo Natural + 4% Cemento Portland IP + 4% Estabilizador Z.

|  |   | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>     |                      |                            |       |  |  |
|---|---|---|----------------------|----------------------------|-------|---|--|
|   |   | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA   |                      |                            |       |   |  |
|   |   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                      |                            |       |   |  |
| <b>PROCTOR MODIFICADO</b>   |   |   |                      |                            |       |   |  |
| <b>TESIS</b>  | 'INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECHANICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROL. JOSE CARLOS MARIATEGUI – ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN- CUSCO - 2022". |   |                      |                            |       |   |  |
| <b>ENSAYO</b>   | PROCTOR MODIFICADO  |   |                      |                            |       |   |  |
| <b>REFERENCIA</b>   | MTC E 115 - COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO ENERGIA MODIFICADA   |   |                      |                            |       |   |  |
| <b>MUESTRA</b>  | SUELO NATURAL + 4% CEMENTO + 4% ESTABILIZADOR Z   |   |                      |                            |       |   |  |
| <b>FECHA</b>  | 19/04/2023  |   |                      |                            |       |   |  |
| <b>LUGAR:</b>   | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |   |                      |                            |       |   |  |
| <b>TESISTAS</b>   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |   |                      |                            |       |   |  |
| <b>DATOS PRELIMINARES</b>   |   |   |                      |                            |       |   |  |
| <b>METODO DE COMPACTACION</b>   |   | A                                       |                      | <b>DATOS DE MOLDE</b>      |       |   |  |
| <b>N° DE CAPAS</b>  | 5   |   | <b>DIAMETRO (CM)</b> |                            | 10.17 |   |  |
| <b>MOLDE</b>  | 4"  |   | <b>ALTURA (CM)</b>   |                            | 11.68 |   |  |
|   |   |   |                      | <b>VOLUMEN (CM3)</b>       |       | 948.80  |  |
|   |   |   |                      | <b>PESO DEL MOLDE (GR)</b> |       | 4223.00   |  |
| <b>DENSIDAD HUMEDA</b>  |   |   |                      |                            |       |   |  |
| <b>PRUEBA N°</b>  | 1   | 2                                       | 3                    | 4                          |       |   |  |
| <b>PESO DE MOLDE (gr)</b>   | 4223.00   | 4223.00                                 | 4223.00              | 4223.00                    |       |   |  |
| <b>PESO DE MOLDE + PESO SUELO COMPACTADO</b>                                      | 6065.10   | 6111.10                                 | 6175.10              | 6144.90                    |       |   |  |
| <b>PESO DE SUELO COMPACTADO (gr)</b>  | 1842.10   | 1888.10                                 | 1952.10              | 1921.90                    |       |   |  |
| <b>VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)</b>  | 948.80  | 948.80                                  | 948.80               | 948.80                     |       |   |  |
| <b>DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)</b>   | 1.94  | 1.99                                    | 2.06                 | 2.03                       |       |   |  |
| <b>DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>   | 1.76  | 1.77                                    | 1.76                 | 1.70                       |       |   |  |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>   |   |   |                      |                            |       |   |  |
| <b>PRUEBA N°</b>  | 1   | 2                                       | 3                    | 4                          |       |   |  |
| <b>PESO DE LA TARA (gr)</b>   | 130.70  | 109.70                                  | 89.00                | 108.90                     |       |   |  |
| <b>PESO DE LA TARA + SUELO HUMEDO (gr)</b>  | 702.70  | 692.90                                  | 601.70               | 631.20                     |       |   |  |
| <b>PESO DE LA TARA + SUELO SECO (gr)</b>  | 650.30  | 629.80                                  | 526.40               | 546.50                     |       |   |  |
| <b>PESO DE SUELO SECO (gr)</b>  | 519.60  | 520.10                                  | 437.40               | 437.60                     |       |   |  |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>   | 10.08   | 12.13                                   | 17.22                | 19.36                      |       |   |  |
| <b>DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>   | 1.76  | 1.77                                    | 1.76                 | 1.70                       |       |   |  |
| <b>DENSIDAD MAXIMA SECA (gr/cm3)</b>  | 1.78  |   |                      |                            |       |   |  |
| <b>CONTENIDO OPTIMO DE HUMEDAD (%)</b>  | 14.00   |   |                      |                            |       |   |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura 58.** Grafica de Proctor Modificado, Suelo Natural + 4% Cemento Portland Tipo IP + 4% Estabilizador Z.



*Fuente: Elaboración Propia.*

**b) Comentario de los resultados obtenidos en la prueba**

Del ensayo Proctor modificado se obtuvo los resultados mostrados en la siguiente tabla:

**Tabla 57.** Resumen del ensayo Proctor Modificado del Suelo natural y con las diferentes dosificaciones de Cemento Portland y Estabilizador Z.

| DESCRIPCION                                     | CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMO | DENSIDAD SECA MAXIMA     |
|---|-----------------------------|--------------------------|
| Suelo Natural                                   | 15.20%                      | 2.040 gr/cm <sup>3</sup> |
| Suelo Natural + 4% Cemento                      | 15.90%                      | 1.814 gr/cm <sup>3</sup> |
| Suelo Natural + 4% Cemento + 1% Estabilizador Z | 14.60%                      | 1.811 gr/cm <sup>3</sup> |
| Suelo Natural + 4% Cemento + 2% Estabilizador Z | 14.50%                      | 1.810 gr/cm <sup>3</sup> |
| Suelo Natural + 4% Cemento + 4% Estabilizador Z | 14.00%                      | 1.780 gr/cm <sup>3</sup> |

*Fuente: Elaboración Propia.*



Respecto a los resultados obtenidos, podemos observar que la densidad máxima seca del suelo natural es  $2.04 \text{ gr/cm}^3$  y el contenido óptimo de humedad es 15.2%.

Con la adición de Cemento en 4% se tiene una disminución de la densidad máxima seca a  $1.814 \text{ gr/cm}^3$  y un ligero incremento en el contenido óptimo de humedad a 15.90%.

Mientras que, con la adición del Estabilizador Z, tanto el contenido óptimo de humedad como la densidad máxima seca van disminuyendo proporcionalmente a la adición de 1%, 2%, 4% de este aditivo.

### **3.6.4. Ensayo de Capacidad de Soporte CBR**

#### **a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

Para calcular el valor de Capacidad de Soporte CBR del suelo se tiene que determinar la relación entre la carga unitaria del pistón del espécimen compactado (necesario para obtener la penetración) y una carga patrón con la siguiente ecuación:

$$\text{CBR} = \frac{\text{CARGA UNITARIA DE ENSAYO}}{\text{CARGA UNITARIA PATRON}} \times 100\%$$

También será necesario realizar el cálculo del porcentaje de Expansión:

$$\%E = \frac{\text{Expansión}}{\text{Altura del Espécimen}} \times 100\%$$

Dichos resultados serán analizados al 0.1” y 0.2” de penetración.



### 3.6.4.1. Diagrama y tablas para su interpretación

**Tabla 58.** Análisis de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR, Suelo Natural.

| UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO        |  | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA |                     | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |            | Universidad Andina del Cusco |                    |            |        |                    |
|-------------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------|---|------------|------------------------------|--------------------|------------|--------|--------------------|
| <b>CAPACIDAD DE SOPORTE CBR</b>     |  |                                       |                     |   |            |                              |                    |            |        |                    |
| TESIS                               | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECHANICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2022 |                                       |                     |   |            |                              |                    |            |        |                    |
| ENSAYO                              | CAPACIDAD DE SOPORTE CBR   |                                       |                     |   |            |                              |                    |            |        |                    |
| REFERENCIA                          | MTC E 132 - CBR DE SUELOS  |                                       |                     |   |            |                              |                    |            |        |                    |
| MUESTRA                             | SUELO NATURAL  |                                       |                     |   |            |                              |                    |            |        |                    |
| FECHA                               | 02/05/2023   |                                       |                     |   |            |                              |                    |            |        |                    |
| LUGAR                               | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                                       |                     |   |            |                              |                    |            |        |                    |
| TESISTAS                            | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |                                       |                     |   |            |                              |                    |            |        |                    |
| <b>DATOS PRELIMINARES</b>           |  |                                       |                     |   |            |                              |                    |            |        |                    |
| <b>Datos del Proctor Modificado</b> |  |                                       |                     |   |            |                              |                    |            |        |                    |
| Densidad Seca Maxima                | 2.04   | Contenido de Humedad Optimo           | 15.20               | N° de Capas                             | 5          |                              |                    |            |        |                    |
| Disco Espaciador                    | 6.13   | cm                                    | Diametro del Piston | 4.96                                    | cm         |                              |                    |            |        |                    |
| <b>COMPACTACIÓN</b>                 |  |                                       |                     |   |            |                              |                    |            |        |                    |
| N° de Molde                         | #  | 1                                     | 2                   | 3                                       |            |                              |                    |            |        |                    |
| N° de Golpes por Capa               | #  | 12                                    | 26                  | 55                                      |            |                              |                    |            |        |                    |
| Altura del Molde                    | cm   | 17.81                                 | 17.83               | 17.81                                   |            |                              |                    |            |        |                    |
| Diametro del Molde                  | cm   | 15.21                                 | 15.20               | 15.20                                   |            |                              |                    |            |        |                    |
| Volmen de molde                     | cm <sup>3</sup>  | 2122.22                               | 2123.06             | 2119.43                                 |            |                              |                    |            |        |                    |
| Peso de molde                       | gr   | 7634.8                                | 7497.1              | 7912.7                                  |            |                              |                    |            |        |                    |
| <b>CONDICION DE LA MUESTRA</b>      |  | <b>No Saturado</b>                    |                     | <b>No Saturado</b>                      |            | <b>No Saturado</b>           |                    |            |        |                    |
| Peso molde + Suelo humedo           | gr   | 12030.81                              | 11969.57            | 12668.54                                |            |                              |                    |            |        |                    |
| Peso de suelo humedo                | gr   | 4396.01                               | 4472.47             | 4755.84                                 |            |                              |                    |            |        |                    |
| Densidad Humeda                     | gr/cm <sup>3</sup>   | 2.07                                  | 2.11                | 2.24                                    |            |                              |                    |            |        |                    |
| Tara N°                             | N°   | 1                                     | 2                   | 3                                       |            |                              |                    |            |        |                    |
| Tara + Suelo húmedo                 | gr   | 619.9                                 | 644.41              | 614.17                                  |            |                              |                    |            |        |                    |
| Tara + Suelo seco                   | gr   | 539.24                                | 566.81              | 535.11                                  |            |                              |                    |            |        |                    |
| Peso de agua                        | gr   | 80.66                                 | 77.60               | 79.06                                   |            |                              |                    |            |        |                    |
| Peso de tara                        | gr   | 78.3                                  | 120.2               | 71.3                                    |            |                              |                    |            |        |                    |
| Peso de suelo seco                  | gr   | 460.94                                | 446.61              | 463.81                                  |            |                              |                    |            |        |                    |
| % de humedad                        | %  | 17.50                                 | 17.38               | 17.05                                   |            |                              |                    |            |        |                    |
| Densidad Seca                       | gr/cm <sup>3</sup>   | 1.763                                 | 1.795               | 1.917                                   |            |                              |                    |            |        |                    |
| <b>PENETRACIÓN</b>                  |  |                                       |                     |   |            |                              |                    |            |        |                    |
| Penetración                         |  | Molde N° 1                            |                     |   | Molde N° 2 |                              |                    | Molde N° 3 |        |                    |
|                                     |  | Carga                                 | Carga               | Esfuerzo                                | Carga      | Carga                        | Esfuerzo           | Carga      | Carga  | Esfuerzo           |
| pulg                                | mm   | Kn                                    | Kgf                 | kg/cm <sup>2</sup>                      | Kn         | Kgf                          | kg/cm <sup>2</sup> | Kn         | Kgf    | kg/cm <sup>2</sup> |
| 0.000                               | 0  | 0.000                                 | 0.00                | 0.00                                    | 0.000      | 0.00                         | 0.00               | 0.000      | 0.00   | 0.00               |
| 0.025                               | 0.63   | 0.381                                 | 38.85               | 2.01                                    | 0.305      | 31.10                        | 1.61               | 0.619      | 63.12  | 3.27               |
| 0.050                               | 1.27   | 0.559                                 | 57.00               | 2.95                                    | 0.592      | 60.37                        | 3.12               | 1.043      | 106.35 | 5.50               |
| 0.075                               | 1.9  | 0.714                                 | 72.81               | 3.77                                    | 0.899      | 91.67                        | 4.74               | 1.431      | 145.92 | 7.55               |
| 0.100                               | 2.54   | 0.839                                 | 85.55               | 4.43                                    | 1.154      | 117.67                       | 6.09               | 1.835      | 187.11 | 9.68               |
| 0.125                               | 3.17   | 0.955                                 | 97.38               | 5.04                                    | 1.362      | 138.88                       | 7.19               | 2.191      | 223.42 | 11.56              |
| 0.150                               | 3.81   | 1.071                                 | 109.21              | 5.65                                    | 1.559      | 158.97                       | 8.23               | 2.512      | 256.15 | 13.26              |
| 0.200                               | 5.08   | 1.211                                 | 123.49              | 6.39                                    | 1.847      | 188.34                       | 9.75               | 3.050      | 311.01 | 16.10              |
| 0.250                               | 6.35   | 1.282                                 | 130.73              | 6.77                                    | 2.070      | 211.08                       | 10.92              | 3.577      | 364.75 | 18.88              |
| 0.300                               | 7.62   | 1.333                                 | 135.93              | 7.03                                    | 2.279      | 232.39                       | 12.03              | 4.041      | 412.06 | 21.33              |
| 0.400                               | 10.16  | 1.415                                 | 144.29              | 7.47                                    | 2.610      | 266.14                       | 13.77              | 4.793      | 488.74 | 25.29              |
| 0.500                               | 12.7   | 1.525                                 | 155.50              | 8.05                                    | 2.963      | 302.14                       | 15.64              | 5.438      | 554.51 | 28.70              |



| Expansión  |             |              |       |             |              |       |             |              |       |
|------------|-------------|--------------|-------|-------------|--------------|-------|-------------|--------------|-------|
| Tiempo Hr. | Molde N° 01 |              |       | Molde N° 02 |              |       | Molde N° 03 |              |       |
|            | Dial *0.001 | Hinchamiento |       | Dial *0.001 | Hinchamiento |       | Dial *0.001 | Hinchamiento |       |
|            |             | mm           | %     |             | mm           | %     |             | mm           | %     |
| 0          | 440         | 11.176       | 0.000 | 305         | 7.747        | 0.000 | 102         | 2.591        | 0.000 |
| 24         | 491         | 12.471       | 1.109 | 376         | 9.550        | 1.544 | 158         | 4.013        | 1.218 |
| 48         | 492         | 12.497       | 1.131 | 377         | 9.576        | 1.566 | 162         | 4.115        | 1.305 |
| 72         | 492         | 12.507       | 1.140 | 378         | 9.601        | 1.588 | 163         | 4.140        | 1.327 |
| 96         | 493         | 12.510       | 1.142 | 379         | 9.627        | 1.609 | 164         | 4.166        | 1.348 |

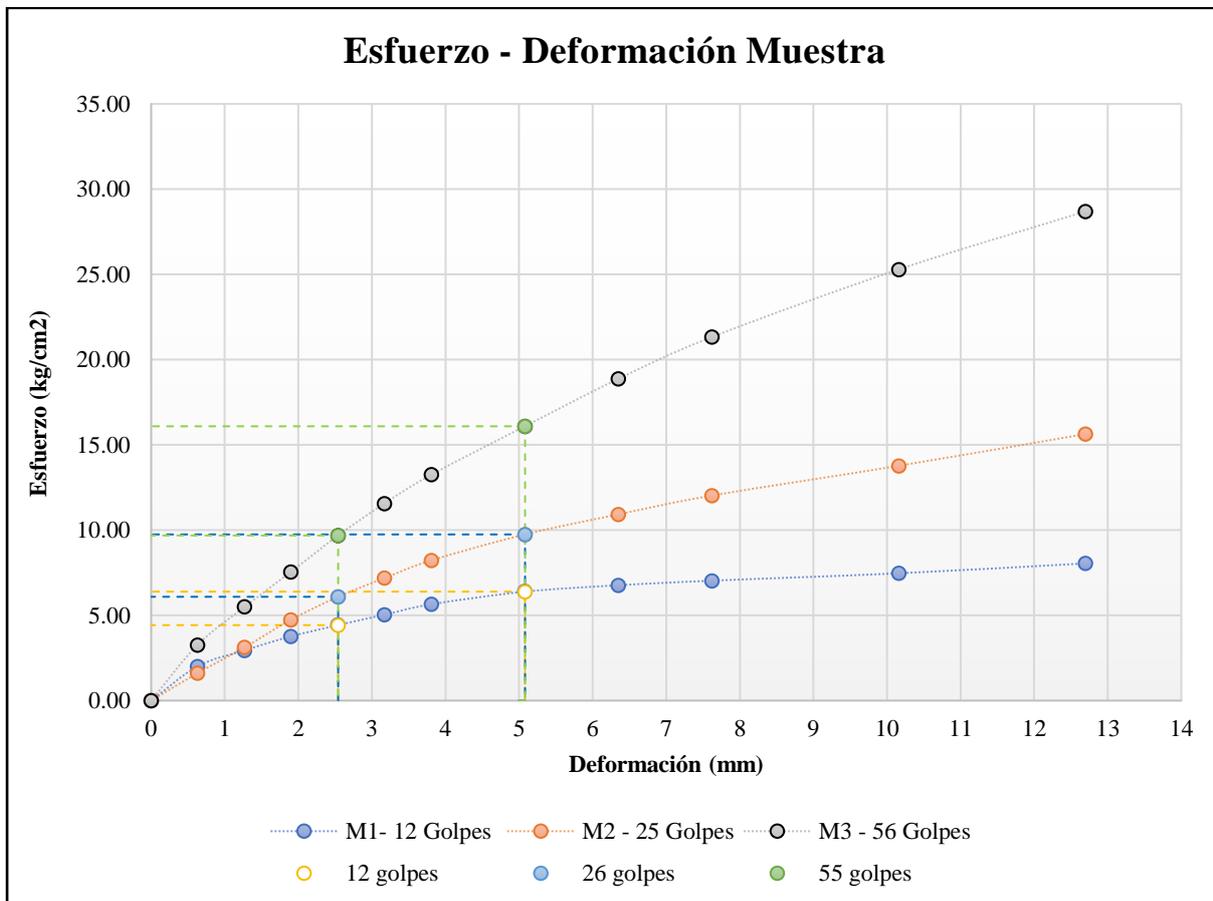
| CBR CORREGIDO    |         |         |      |         |      |         |       |
|------------------|---------|---------|------|---------|------|---------|-------|
| Penetración (mm) | Carga   | MOLDE   |      |         |      |         |       |
|                  | Patron  | Molde 1 |      | Molde 2 |      | Molde 3 |       |
|                  | Kgf/cm2 | Kgf/cm2 | %    | Kgf/cm2 | %    | Kgf/cm2 | %     |
| 2.54             | 70.31   | 4.43    | 6.30 | 6.09    | 8.66 | 9.68    | 13.77 |
| 5.08             | 105.46  | 6.39    | 6.06 | 9.75    | 9.24 | 16.10   | 15.26 |

| CBR - Densidad Seca  |         |         |               | CBR al 100% de la MDS | 13.77 | % | 0.1" |
|----------------------|---------|---------|---------------|-----------------------|-------|---|------|
| Numero de Golpes     | 0.1"    | 0.2"    | Densidad Seca | CBR al 95% de la MDS  | 10.07 | % |      |
| 12                   | 6.30 %  | 6.06 %  | 1.763         | CBR al 100% de la MDS | 15.26 | % | 0.2" |
| 25                   | 8.66 %  | 9.24 %  | 1.795         | CBR al 95% de la MDS  | 11.12 | % |      |
| 56                   | 13.77 % | 15.26 % | 1.917         |                       |       |   |      |
| Densidad Seca Maxima |         | 2.04    | gr/cm3        |                       |       |   |      |

Fuente: Elaboración Propia.

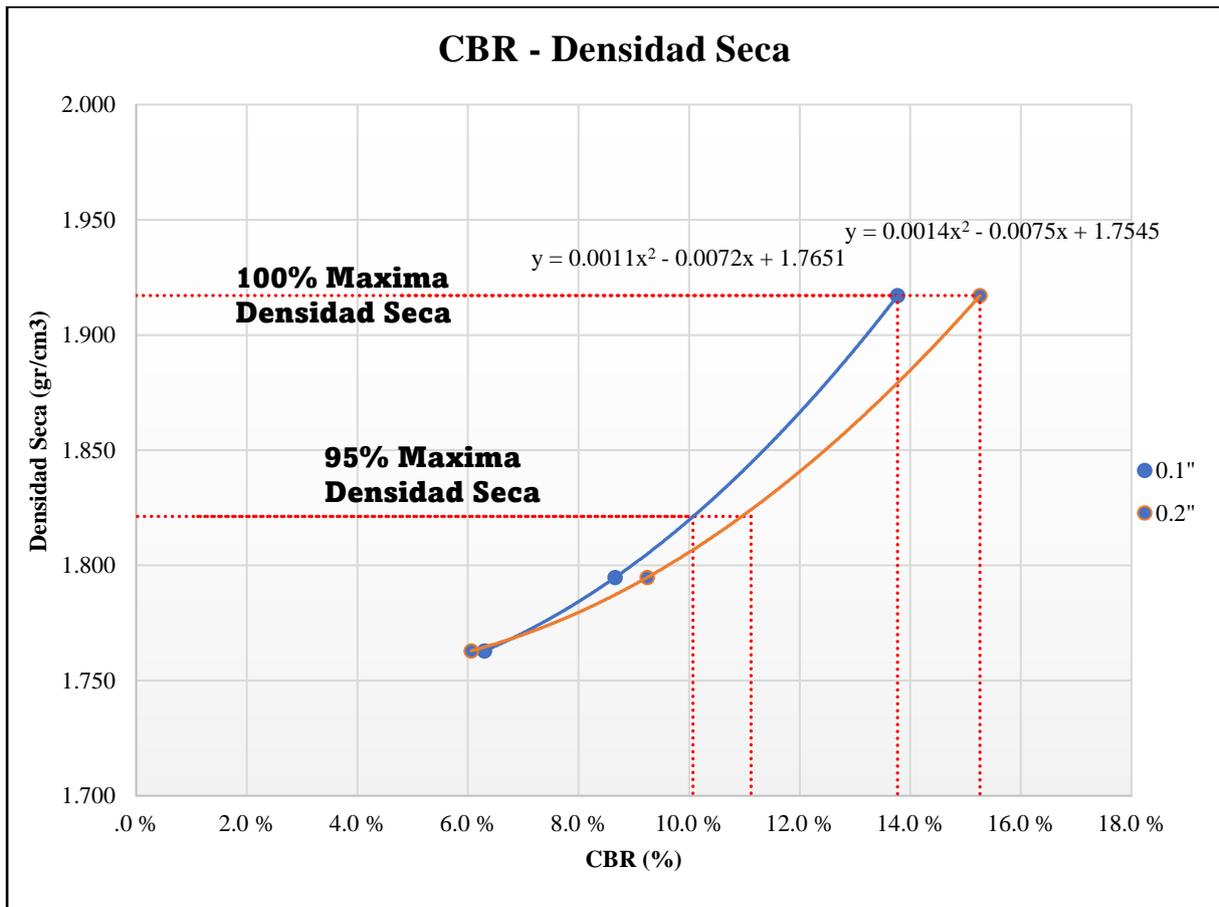
Figura 59. Grafica de Capacidad de Soporte CBR, Relación Esfuerzo – Deformación, Suelo Natural.



Fuente: Elaboración Propia.



Figura 60. Grafica de Capacidad de Soporte, Densidad Seca – CBR, Suelo Natural.



Fuente: Elaboración Propia.



**Tabla 59.** Análisis de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR, Suelo Natural +4% de Cemento Portland.

| UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |  | Universidad<br>Andina<br>del Cusco |                     |             |    |
|--|--|------------------------------------|---------------------|-------------|----|
| CAPACIDAD DE SOPORTE CBR   |  |                                    |                     |             |    |
| TESIS  | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2022 |                                    |                     |             |    |
| ENSAYO   | CAPACIDAD DE SOPORTE CBR   |                                    |                     |             |    |
| REFERENCIA   | MTC E 132 - CBR DE SUELOS  |                                    |                     |             |    |
| MUESTRA  | SUELO NATURAL + 4% CEMENTO   |                                    |                     |             |    |
| FECHA  | 02/05/2023   |                                    |                     |             |    |
| LUGAR  | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                                    |                     |             |    |
| TESISTAS   | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |                                    |                     |             |    |
| DATOS PRELIMINARES   |  |                                    |                     |             |    |
| Datos del Proctor Modificado   |  |                                    |                     |             |    |
| Densidad Seca Maxima   | 1.78   | Contenido de Humedad Optimo        | 14.00               | N° de Capas | 5  |
| Disco Espaciador   | 6.13   | cm                                 | Diametro del Piston | 4.96        | cm |
| COMPACTACIÓN   |  |                                    |                     |             |    |
| N° de Molde  | #  | 1                                  | 2                   | 3           |    |
| N° de Golpes por Capa  | #  | 12                                 | 26                  | 55          |    |
| Altura del Molde   | cm   | 17.81                              | 17.83               | 17.81       |    |
| Diametro del Molde   | cm   | 15.21                              | 15.20               | 15.20       |    |
| Volmen de molde  | cm <sup>3</sup>  | 2122.22                            | 2123.06             | 2119.43     |    |
| Peso de molde  | gr   | 7970                               | 7535                | 7505        |    |
| CONDICION DE LA MUESTRA  |  | No Saturado                        |                     | No Saturado |    |
| Peso molde + Suelo humedo  | gr   | 11776.52                           | 11647.91            | 11823.75    |    |
| Peso de suelo humedo   | gr   | 3806.52                            | 4112.91             | 4318.75     |    |
| Densidad Humeda  | gr/cm <sup>3</sup>   | 1.79                               | 1.94                | 2.04        |    |
| Tara N°  | N°   | 1                                  | 2                   | 3           |    |
| Tara + Suelo húmedo  | gr   | 603.95                             | 575.03              | 355.22      |    |
| Tara + Suelo seco  | gr   | 543.8                              | 522.4               | 321.4       |    |
| Peso de agua   | gr   | 60.15                              | 52.63               | 33.82       |    |
| Peso de tara   | gr   | 106.8                              | 139.8               | 78.2        |    |
| Peso de suelo seco   | gr   | 437                                | 382.6               | 243.2       |    |
| % de humedad   | %  | 13.76                              | 13.76               | 13.91       |    |
| Densidad Seca  | gr/cm <sup>3</sup>   | 1.577                              | 1.703               | 1.789       |    |

| PENETRACIÓN |       |            |           |                             |            |           |                             |            |           |                             |
|-------------|-------|------------|-----------|-----------------------------|------------|-----------|-----------------------------|------------|-----------|-----------------------------|
| Penetración |       | Molde N° 1 |           |                             | Molde N° 2 |           |                             | Molde N° 3 |           |                             |
|             |       | Carga Kn   | Carga Kgf | Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup> | Carga Kn   | Carga Kgf | Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup> | Carga Kn   | Carga Kgf | Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup> |
| 0.000       | 0     | 0.000      | 0.00      | 0.00                        | 0.000      | 0.00      | 0.00                        | 0.000      | 0.00      | 0.00                        |
| 0.025       | 0.63  | 1.963      | 200.17    | 10.36                       | 2.472      | 252.07    | 13.05                       | 4.132      | 421.34    | 21.81                       |
| 0.050       | 1.27  | 3.796      | 387.08    | 20.03                       | 5.863      | 597.85    | 30.94                       | 8.113      | 827.28    | 42.82                       |
| 0.075       | 1.9   | 5.033      | 513.22    | 26.56                       | 8.023      | 818.11    | 42.34                       | 11.383     | 1160.72   | 60.07                       |
| 0.100       | 2.54  | 6.103      | 622.32    | 32.21                       | 9.833      | 1002.67   | 51.89                       | 13.403     | 1366.70   | 70.73                       |
| 0.125       | 3.17  | 7.012      | 715.01    | 37.01                       | 11.152     | 1137.17   | 58.85                       | 14.773     | 1506.40   | 77.96                       |
| 0.150       | 3.81  | 7.699      | 785.07    | 40.63                       | 12.018     | 1225.48   | 63.42                       | 15.623     | 1593.08   | 82.45                       |
| 0.200       | 5.08  | 8.993      | 917.02    | 47.46                       | 13.058     | 1331.52   | 68.91                       | 16.625     | 1695.25   | 87.74                       |
| 0.250       | 6.35  | 9.963      | 1015.93   | 52.58                       | 13.783     | 1405.45   | 72.74                       | 17.153     | 1749.09   | 90.52                       |
| 0.300       | 7.62  | 10.703     | 1091.38   | 56.48                       | 14.414     | 1469.80   | 76.07                       | 17.602     | 1794.88   | 92.89                       |
| 0.400       | 10.16 | 11.559     | 1178.67   | 61.00                       | 15.257     | 1555.76   | 80.52                       | 18.236     | 1859.52   | 96.24                       |
| 0.500       | 12.7  | 11.981     | 1221.70   | 63.23                       | 15.560     | 1586.65   | 82.12                       | 18.353     | 1871.46   | 96.86                       |



| Expansión  |             |              |       |             |              |       |             |              |       |
|------------|-------------|--------------|-------|-------------|--------------|-------|-------------|--------------|-------|
| Tiempo Hr. | Molde N° 01 |              |       | Molde N° 02 |              |       | Molde N° 03 |              |       |
|            | Dial *0.001 | Hinchamiento |       | Dial *0.001 | Hinchamiento |       | Dial *0.001 | Hinchamiento |       |
|            |             | mm           | %     |             | mm           | %     |             | mm           | %     |
| 0          | 81          | 2.057        | 0.000 | 265         | 6.731        | 0.000 | 362         | 9.195        | 0.000 |
| 24         | 115         | 2.921        | 0.739 | 304         | 7.709        | 0.837 | 377         | 9.576        | 0.326 |
| 48         | 116         | 2.946        | 0.761 | 305         | 7.734        | 0.859 | 380         | 9.652        | 0.391 |
| 72         | 118         | 2.997        | 0.805 | 306         | 7.772        | 0.892 | 382         | 9.703        | 0.435 |
| 96         | 119         | 3.023        | 0.826 | 308         | 7.823        | 0.935 | 383         | 9.728        | 0.457 |

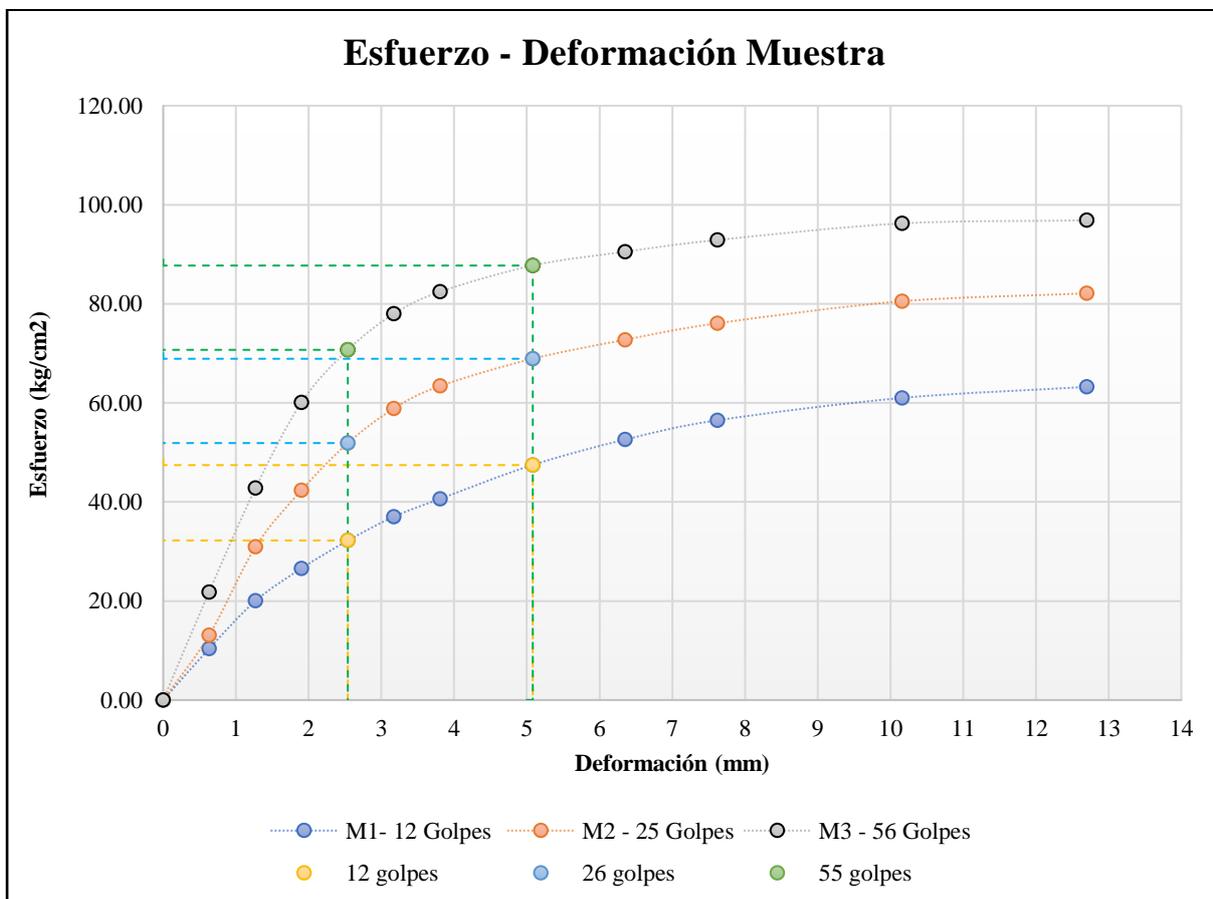
| CBR CORREGIDO    |         |         |       |         |       |         |        |
|------------------|---------|---------|-------|---------|-------|---------|--------|
| Penetración (mm) | Carga   | MOLDE   |       |         |       |         |        |
|                  | Patron  | Molde 1 |       | Molde 2 |       | Molde 3 |        |
|                  | Kgf/cm2 | Kgf/cm2 | %     | Kgf/cm2 | %     | Kgf/cm2 | %      |
| 2.54             | 70.31   | 32.21   | 45.81 | 51.89   | 73.81 | 70.73   | 100.60 |
| 5.08             | 105.46  | 47.46   | 45.00 | 68.91   | 65.34 | 87.74   | 83.19  |

| CBR - Densidad Seca  |          |         |               | CBR al 100% de la MDS | 97.80 | % | 0.1" |
|----------------------|----------|---------|---------------|-----------------------|-------|---|------|
| Numero de Golpes     | 0.1"     | 0.2"    | Densidad Seca | CBR al 95% de la MDS  | 70.80 | % |      |
| 12                   | 45.81 %  | 45.0 %  | 1.577         | CBR al 100% de la MDS | 81.32 | % | 0.2" |
| 25                   | 73.81 %  | 65.34 % | 1.703         | CBR al 95% de la MDS  | 63.20 | % |      |
| 56                   | 100.60 % | 83.19 % | 1.789         |                       |       |   |      |
| Densidad Seca Maxima |          | 1.78    | gr/cm3        |                       |       |   |      |

Fuente: Elaboración Propia.

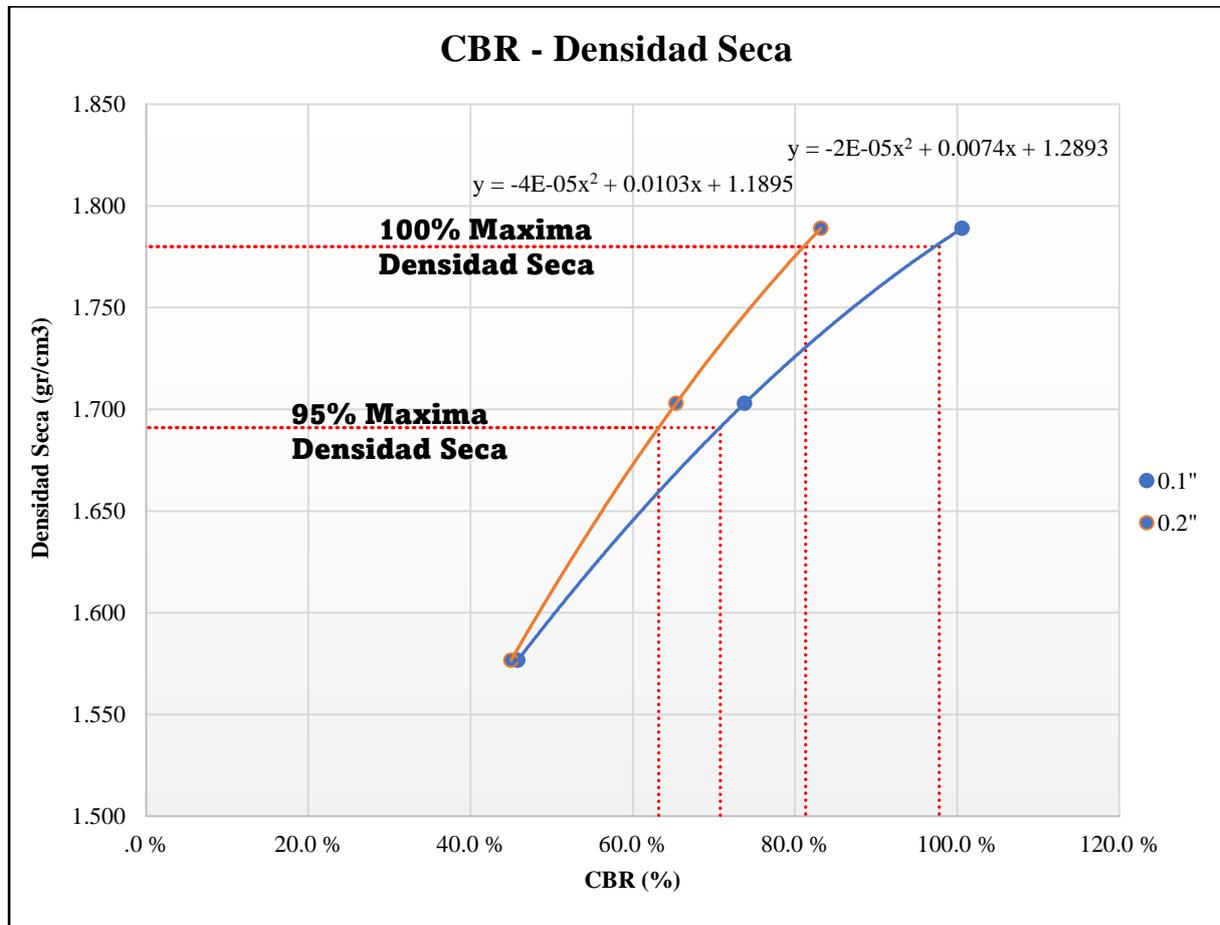
Figura 61. Grafica de Capacidad de Soporte CBR, Relación Esfuerzo – Deformación, Suelo Natural +4% de Cemento Portland.



Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 62.** Grafica de Capacidad de Soporte, Densidad Seca – CBR, Suelo Natural +4% de Cemento Portland.



*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 60.** Análisis de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR, Suelo Natural +4% Cemento Portland +1% de Estabilizador Z.

| UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO    |   | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA |                     | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |               | Universidad Andina del Cusco |                             |               |                |                             |
|---------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------|---|---------------|------------------------------|-----------------------------|---------------|----------------|-----------------------------|
| <b>CAPACIDAD DE SOPORTE CBR</b> |   |                                       |                     |   |               |                              |                             |               |                |                             |
| TESIS                           | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECANICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2022 |                                       |                     |   |               |                              |                             |               |                |                             |
| ENSAYO                          | CAPACIDAD DE SOPORTE CBR  |                                       |                     |   |               |                              |                             |               |                |                             |
| REFERENCIA                      | MTC E 132 - CBR DE SUELOS   |                                       |                     |   |               |                              |                             |               |                |                             |
| MUESTRA                         | SUELO NATURAL + 4% CEMENTO + 1% ESTABILIZADOR Z   |                                       |                     |   |               |                              |                             |               |                |                             |
| FECHA                           | 02/05/2023  |                                       |                     |   |               |                              |                             |               |                |                             |
| LUGAR                           | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |                                       |                     |   |               |                              |                             |               |                |                             |
| TESISTAS                        | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE  |                                       |                     |   |               |                              |                             |               |                |                             |
| <b>DATOS PRELIMINARES</b>       |   |                                       |                     |   |               |                              |                             |               |                |                             |
| Datos del Proctor Modificado    |   |                                       |                     |   |               |                              |                             |               |                |                             |
| Densidad Seca Maxima            | 1.811   | Contenido de Humedad Optimo           |                     | 14.60                                   | N° de Capas   |                              | 5                           |               |                |                             |
| Disco Espaciador                | 6.13  | cm                                    | Diametro del Piston |   | 4.96          | cm                           |                             |               |                |                             |
| <b>COMPACTACIÓN</b>             |   |                                       |                     |   |               |                              |                             |               |                |                             |
| N° de Molde                     | #   | 1                                     |                     | 2                                       |               | 3                            |                             |               |                |                             |
| N° de Golpes por Capa           | #   | 12                                    |                     | 26                                      |               | 55                           |                             |               |                |                             |
| Altura del Molde                | cm  | 17.81                                 |                     | 17.83                                   |               | 17.81                        |                             |               |                |                             |
| Diametro del Molde              | cm  | 15.21                                 |                     | 15.20                                   |               | 15.20                        |                             |               |                |                             |
| Volmen de molde                 | cm <sup>3</sup>   | 2122.22                               |                     | 2123.06                                 |               | 2119.43                      |                             |               |                |                             |
| Peso de molde                   | gr  | 7655.1                                |                     | 6935                                    |               | 6930                         |                             |               |                |                             |
| <b>CONDICION DE LA MUESTRA</b>  |   | <b>No Saturado</b>                    |                     | <b>No Saturado</b>                      |               | <b>No Saturado</b>           |                             |               |                |                             |
| Peso molde + Suelo humedo       | gr  | 11652.76                              |                     | 11235.53                                |               | 11354.72                     |                             |               |                |                             |
| Peso de suelo humedo            | gr  | 3997.66                               |                     | 4300.53                                 |               | 4424.72                      |                             |               |                |                             |
| Densidad Humeda                 | gr/cm <sup>3</sup>  | 1.88                                  |                     | 2.03                                    |               | 2.09                         |                             |               |                |                             |
| Tara N°                         | N°  | 1                                     |                     | 2                                       |               | 3                            |                             |               |                |                             |
| Tara + Suelo húmedo             | gr  | 353.43                                |                     | 391.86                                  |               | 619.03                       |                             |               |                |                             |
| Tara + Suelo seco               | gr  | 324                                   |                     | 362.4                                   |               | 551                          |                             |               |                |                             |
| Peso de agua                    | gr  | 29.43                                 |                     | 29.46                                   |               | 68.03                        |                             |               |                |                             |
| Peso de tara                    | gr  | 131.1                                 |                     | 139.8                                   |               | 78.2                         |                             |               |                |                             |
| Peso de suelo seco              | gr  | 192.9                                 |                     | 222.6                                   |               | 472.8                        |                             |               |                |                             |
| % de humedad                    | %   | 15.26                                 |                     | 13.23                                   |               | 14.39                        |                             |               |                |                             |
| Densidad Seca                   | gr/cm <sup>3</sup>  | 1.634                                 |                     | 1.789                                   |               | 1.825                        |                             |               |                |                             |
| <b>PENETRACIÓN</b>              |   |                                       |                     |   |               |                              |                             |               |                |                             |
| Penetración                     |   | Molde N° 1                            |                     |   | Molde N° 2    |                              |                             | Molde N° 3    |                |                             |
|                                 |   | Carga Kn                              | Carga Kgf           | Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>             | Carga Kn      | Carga Kgf                    | Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup> | Carga Kn      | Carga Kgf      | Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup> |
| pulg                            | mm  |                                       |                     |   |               |                              |                             |               |                |                             |
| 0.000                           | 0   | 0.000                                 | 0.00                | 0.00                                    | 0.000         | 0.00                         | 0.00                        | 0.000         | 0.00           | 0.00                        |
| 0.025                           | 0.63  | 1.423                                 | 145.10              | 7.51                                    | 1.757         | 179.16                       | 9.27                        | 2.262         | 230.66         | 11.94                       |
| 0.050                           | 1.27  | 3.447                                 | 351.49              | 18.19                                   | 4.046         | 412.57                       | 21.35                       | 7.179         | 732.04         | 37.89                       |
| 0.075                           | 1.9   | 5.348                                 | 545.34              | 28.22                                   | 7.324         | 746.83                       | 38.65                       | 10.718        | 1092.91        | 56.56                       |
| <b>0.100</b>                    | <b>2.54</b>   | <b>7.238</b>                          | <b>738.06</b>       | <b>38.20</b>                            | <b>9.643</b>  | <b>983.30</b>                | <b>50.89</b>                | <b>13.320</b> | <b>1358.24</b> | <b>70.29</b>                |
| 0.125                           | 3.17  | 8.480                                 | 864.71              | 44.75                                   | 11.117        | 1133.60                      | 58.67                       | 14.655        | 1494.37        | 77.34                       |
| 0.150                           | 3.81  | 9.169                                 | 934.96              | 48.39                                   | 12.062        | 1229.96                      | 63.66                       | 15.409        | 1571.26        | 81.32                       |
| <b>0.200</b>                    | <b>5.08</b>   | <b>9.867</b>                          | <b>1006.14</b>      | <b>52.07</b>                            | <b>13.021</b> | <b>1327.75</b>               | <b>68.72</b>                | <b>16.482</b> | <b>1680.67</b> | <b>86.98</b>                |
| 0.250                           | 6.35  | 10.289                                | 1049.17             | 54.30                                   | 13.804        | 1407.59                      | 72.85                       | 17.239        | 1757.86        | 90.98                       |
| 0.300                           | 7.62  | 10.684                                | 1089.45             | 56.38                                   | 14.344        | 1462.66                      | 75.70                       | 17.774        | 1812.41        | 93.80                       |
| 0.400                           | 10.16   | 11.103                                | 1132.17             | 58.59                                   | 14.986        | 1528.12                      | 79.09                       | 18.429        | 1879.21        | 97.26                       |
| 0.500                           | 12.7  | 11.643                                | 1187.24             | 61.44                                   | 15.605        | 1591.24                      | 82.35                       | 18.805        | 1917.55        | 99.24                       |



| Expansión  |             |              |       |             |              |       |             |              |       |
|------------|-------------|--------------|-------|-------------|--------------|-------|-------------|--------------|-------|
| Tiempo Hr. | Molde N° 01 |              |       | Molde N° 02 |              |       | Molde N° 03 |              |       |
|            | Dial *0.001 | Hinchamiento |       | Dial *0.001 | Hinchamiento |       | Dial *0.001 | Hinchamiento |       |
|            |             | mm           | %     |             | mm           | %     |             | mm           | %     |
| 0          | 176         | 4.470        | 0.000 | 97          | 2.464        | 0.000 | 457         | 11.608       | 0.000 |
| 24         | 232         | 5.893        | 1.218 | 119         | 3.023        | 0.478 | 504         | 12.789       | 1.011 |
| 48         | 234         | 5.944        | 1.261 | 120         | 3.048        | 0.500 | 505         | 12.814       | 1.033 |
| 72         | 236         | 5.994        | 1.305 | 122         | 3.086        | 0.533 | 506         | 12.840       | 1.055 |
| 96         | 237         | 6.020        | 1.327 | 123         | 3.112        | 0.555 | 506         | 12.852       | 1.066 |

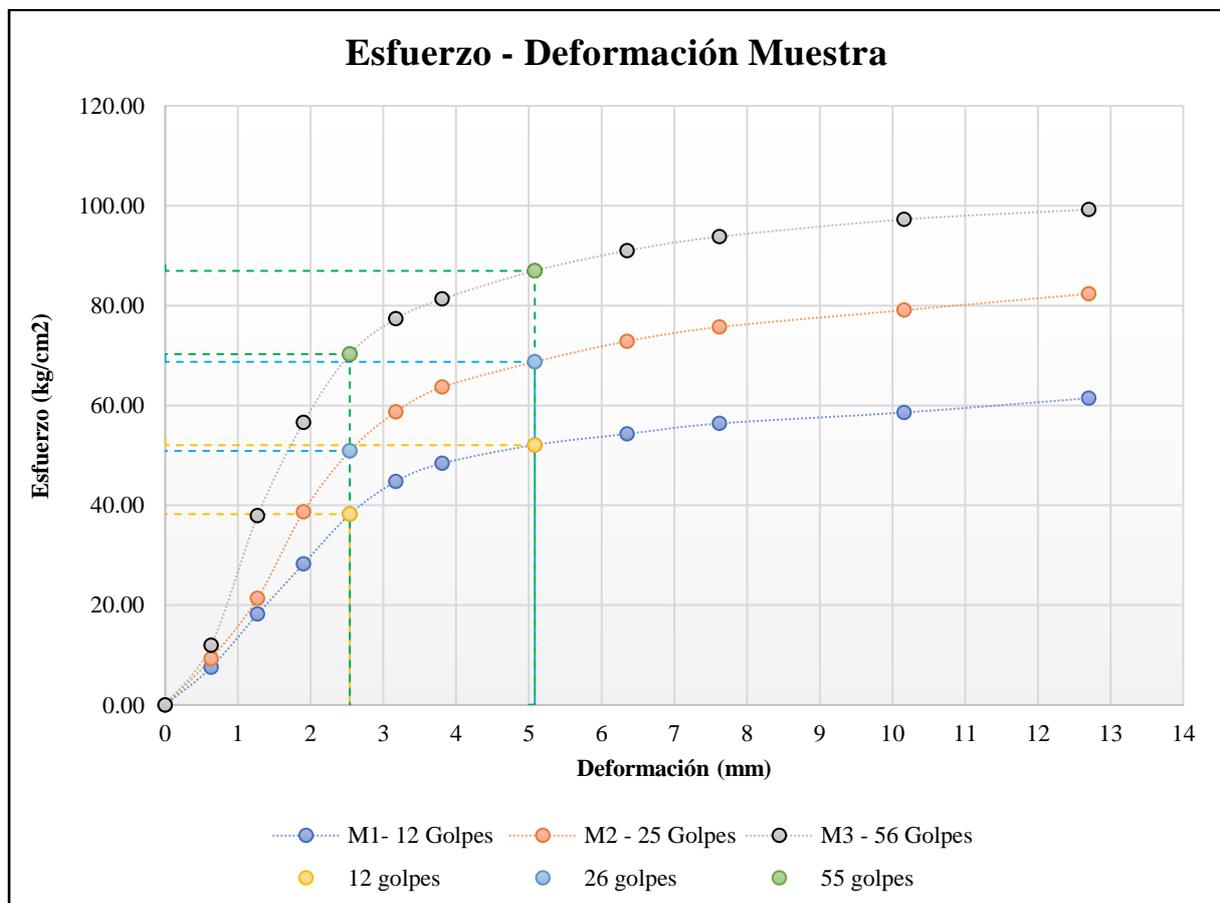
| CBR CORREGIDO    |         |         |       |         |       |         |       |
|------------------|---------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Penetración (mm) | Carga   | MOLDE   |       |         |       |         |       |
|                  | Patron  | Molde 1 |       | Molde 2 |       | Molde 3 |       |
|                  | Kgf/cm2 | Kgf/cm2 | %     | Kgf/cm2 | %     | Kgf/cm2 | %     |
| 2.54             | 70.31   | 38.20   | 54.33 | 50.89   | 72.38 | 70.29   | 99.98 |
| 5.08             | 105.46  | 52.07   | 49.38 | 68.72   | 65.16 | 86.98   | 82.48 |

| CBR - Densidad Seca  |         |         |               | CBR al 100% de la MDS | 77.25 | % | 0.1" |
|----------------------|---------|---------|---------------|-----------------------|-------|---|------|
| Numero de Golpes     | 0.1"    | 0.2"    | Densidad Seca | CBR al 95% de la MDS  | 62.80 | % |      |
| 12                   | 54.33 % | 49.38 % | 1.634         | CBR al 100% de la MDS | 69.74 | % | 0.2" |
| 25                   | 72.38 % | 65.16 % | 1.789         | CBR al 95% de la MDS  | 56.79 | % |      |
| 56                   | 99.98 % | 82.48 % | 1.825         |                       |       |   |      |
| Densidad Seca Maxima |         | 1.811   | gr/cm3        |                       |       |   |      |

Fuente: Elaboración Propia.

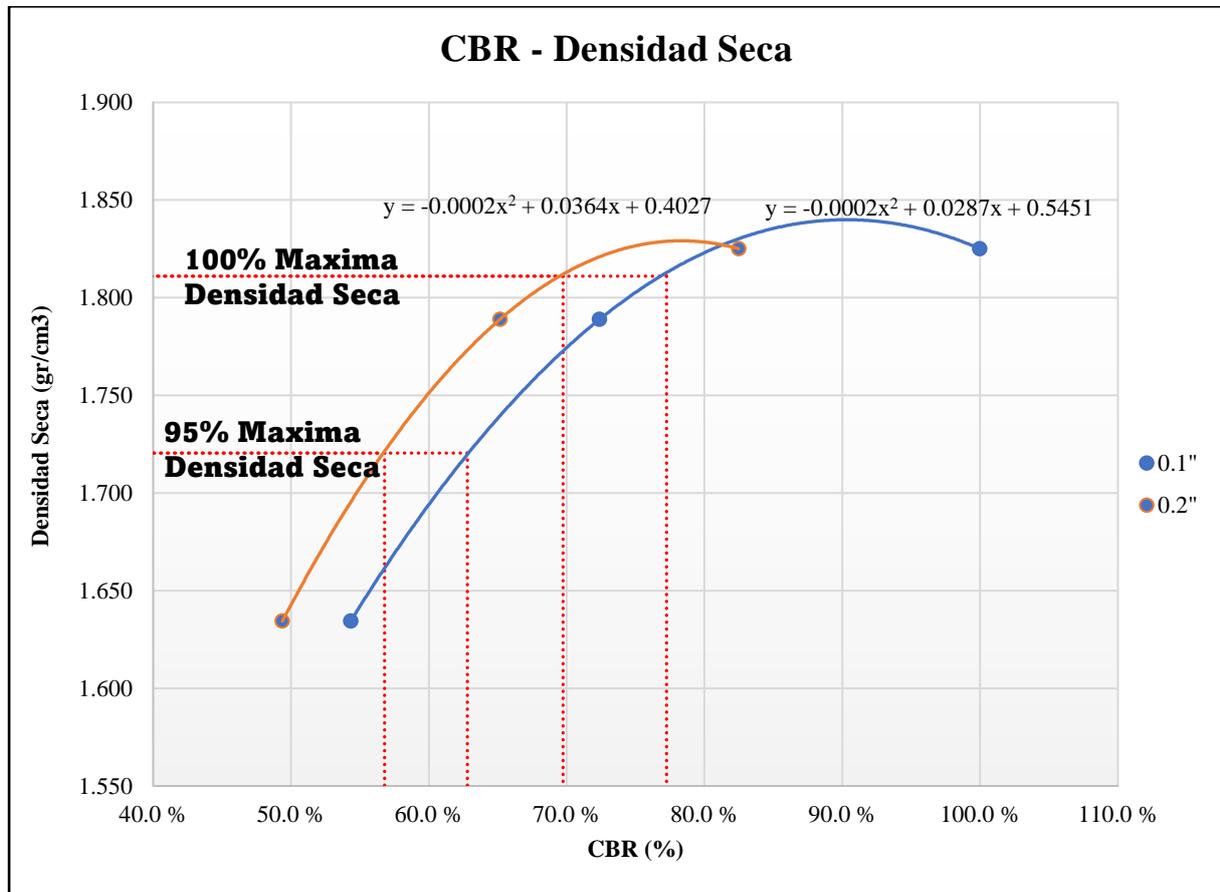
Figura 63. Grafica de Capacidad de Soporte CBR, Relación Esfuerzo – Deformación, Suelo Natural +4% de Cemento +1% de Estabilizador Z.



Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 64.** Grafica de Capacidad de Soporte, Densidad Seca – CBR, Suelo Natural +4% de Cemento Portland +1% de Estabilizador Z.



*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 61.** Análisis de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR, Suelo Natural +4% Cemento Portland +2% de Estabilizador Z.

| UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO        |  | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA |                            | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |                    |
|-------------------------------------|--|---------------------------------------|----------------------------|---|--------------------|
| <b>CAPACIDAD DE SOPORTE CBR</b>     |  |                                       |                            |   |                    |
| <b>TESIS</b>                        | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECAICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2022 |                                       |                            |   |                    |
| <b>ENSAYO</b>                       | CAPACIDAD DE SOPORTE CBR   |                                       |                            |   |                    |
| <b>REFERENCIA</b>                   | MTC E 132 - CBR DE SUELOS  |                                       |                            |   |                    |
| <b>MUESTRA</b>                      | SUELO NATURAL + 4% CEMENTO + 2% ESTABILIZADOR Z  |                                       |                            |   |                    |
| <b>FECHA</b>                        | 02/05/2023   |                                       |                            |   |                    |
| <b>LUGAR</b>                        | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                                       |                            |   |                    |
| <b>TESISTAS</b>                     | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |                                       |                            |   |                    |
| <b>DATOS PRELIMINARES</b>           |  |                                       |                            |   |                    |
| <b>Datos del Proctor Modificado</b> |  |                                       |                            |   |                    |
| <b>Densidad Seca Maxima</b>         | 1.81   | <b>Contenido de Humedad Optimo</b>    |                            | 14.50                                   | <b>N° de Capas</b> |
| <b>Disco Espaciador</b>             | 6.13   | cm                                    | <b>Diametro del Piston</b> | 4.96                                    | cm                 |
| <b>COMPACTACIÓN</b>                 |  |                                       |                            |   |                    |
| <b>N° de Molde</b>                  | #  | 1                                     | 2                          | 3                                       |                    |
| <b>N° de Golpes por Capa</b>        | #  | 12                                    | 26                         | 55                                      |                    |
| <b>Altura del Molde</b>             | cm   | 17.81                                 | 17.83                      | 17.81                                   |                    |
| <b>Diametro del Molde</b>           | cm   | 15.21                                 | 15.20                      | 15.20                                   |                    |
| <b>Volmen de molde</b>              | cm <sup>3</sup>  | 2122.22                               | 2123.06                    | 2119.43                                 |                    |
| <b>Peso de molde</b>                | gr   | 8000                                  | 8545                       | 6935                                    |                    |
| <b>CONDICION DE LA MUESTRA</b>      |  | <b>No Saturado</b>                    |                            | <b>No Saturado</b>                      |                    |
| <b>Peso molde + Suelo humedo</b>    | gr   | 11960.47                              | 12795.68                   | 11379.83                                |                    |
| <b>Peso de suelo humedo</b>         | gr   | 3960.47                               | 4250.68                    | 4444.83                                 |                    |
| <b>Densidad Humeda</b>              | gr/cm <sup>3</sup>   | 1.87                                  | 2.00                       | 2.10                                    |                    |
| <b>Tara N°</b>                      | N°   | 1                                     | 2                          | 3                                       |                    |
| <b>Tara + Suelo húmedo</b>          | gr   | 633.26                                | 474.98                     | 431.23                                  |                    |
| <b>Tara + Suelo seco</b>            | gr   | 573.4                                 | 435.1                      | 394.6                                   |                    |
| <b>Peso de agua</b>                 | gr   | 59.86                                 | 39.88                      | 36.63                                   |                    |
| <b>Peso de tara</b>                 | gr   | 120.2                                 | 150.3                      | 110.5                                   |                    |
| <b>Peso de suelo seco</b>           | gr   | 453.2                                 | 284.8                      | 284.1                                   |                    |
| <b>% de humedad</b>                 | %  | 13.21                                 | 14.00                      | 12.89                                   |                    |
| <b>Densidad Seca</b>                | gr/cm <sup>3</sup>   | 1.648                                 | 1.756                      | 1.858                                   |                    |

| <b>PENETRACIÓN</b> |             |               |                |                    |               |                |                    |               |                |                    |
|--------------------|-------------|---------------|----------------|--------------------|---------------|----------------|--------------------|---------------|----------------|--------------------|
| Penetración        |             | Molde N° 1    |                |                    | Molde N° 2    |                |                    | Molde N° 3    |                |                    |
|                    |             | Carga         | Carga          | Esfuerzo           | Carga         | Carga          | Esfuerzo           | Carga         | Carga          | Esfuerzo           |
| pulg               | mm          | Kn            | Kgf            | kg/cm <sup>2</sup> | Kn            | Kgf            | kg/cm <sup>2</sup> | Kn            | Kgf            | kg/cm <sup>2</sup> |
| 0.000              | 0           | 0.000         | 0.00           | 0.00               | 0.000         | 0.00           | 0.00               | 0.000         | 0.00           | 0.00               |
| 0.025              | 0.63        | 1.353         | 137.97         | 7.14               | 2.163         | 220.56         | 11.41              | 3.878         | 395.44         | 20.47              |
| 0.050              | 1.27        | 4.154         | 423.58         | 21.92              | 6.096         | 621.61         | 32.17              | 9.253         | 943.53         | 48.83              |
| 0.075              | 1.9         | 6.220         | 634.25         | 32.83              | 9.383         | 956.78         | 49.52              | 13.103        | 1336.11        | 69.15              |
| <b>0.100</b>       | <b>2.54</b> | <b>7.878</b>  | <b>803.32</b>  | <b>41.58</b>       | <b>11.573</b> | <b>1180.10</b> | <b>61.08</b>       | <b>15.462</b> | <b>1576.66</b> | <b>81.60</b>       |
| 0.125              | 3.17        | 9.120         | 929.97         | 48.13              | 12.891        | 1314.50        | 68.03              | 16.584        | 1691.07        | 87.52              |
| 0.150              | 3.81        | 9.918         | 1011.34        | 52.34              | 13.704        | 1397.40        | 72.32              | 17.348        | 1768.98        | 91.55              |
| <b>0.200</b>       | <b>5.08</b> | <b>10.838</b> | <b>1105.15</b> | <b>57.20</b>       | <b>14.916</b> | <b>1520.98</b> | <b>78.72</b>       | <b>18.553</b> | <b>1891.85</b> | <b>97.91</b>       |
| 0.250              | 6.35        | 11.734        | 1196.52        | 61.92              | 15.816        | 1612.76        | 83.47              | 19.470        | 1985.36        | 102.75             |
| 0.300              | 7.62        | 12.587        | 1283.50        | 66.43              | 16.616        | 1694.33        | 87.69              | 20.373        | 2077.43        | 107.52             |
| 0.400              | 10.16       | 13.875        | 1414.83        | 73.22              | 18.016        | 1837.09        | 95.08              | 21.777        | 2220.60        | 114.93             |
| 0.500              | 12.7        | 15.135        | 1543.32        | 79.87              | 19.016        | 1939.06        | 100.35             | 23.094        | 2354.90        | 121.88             |



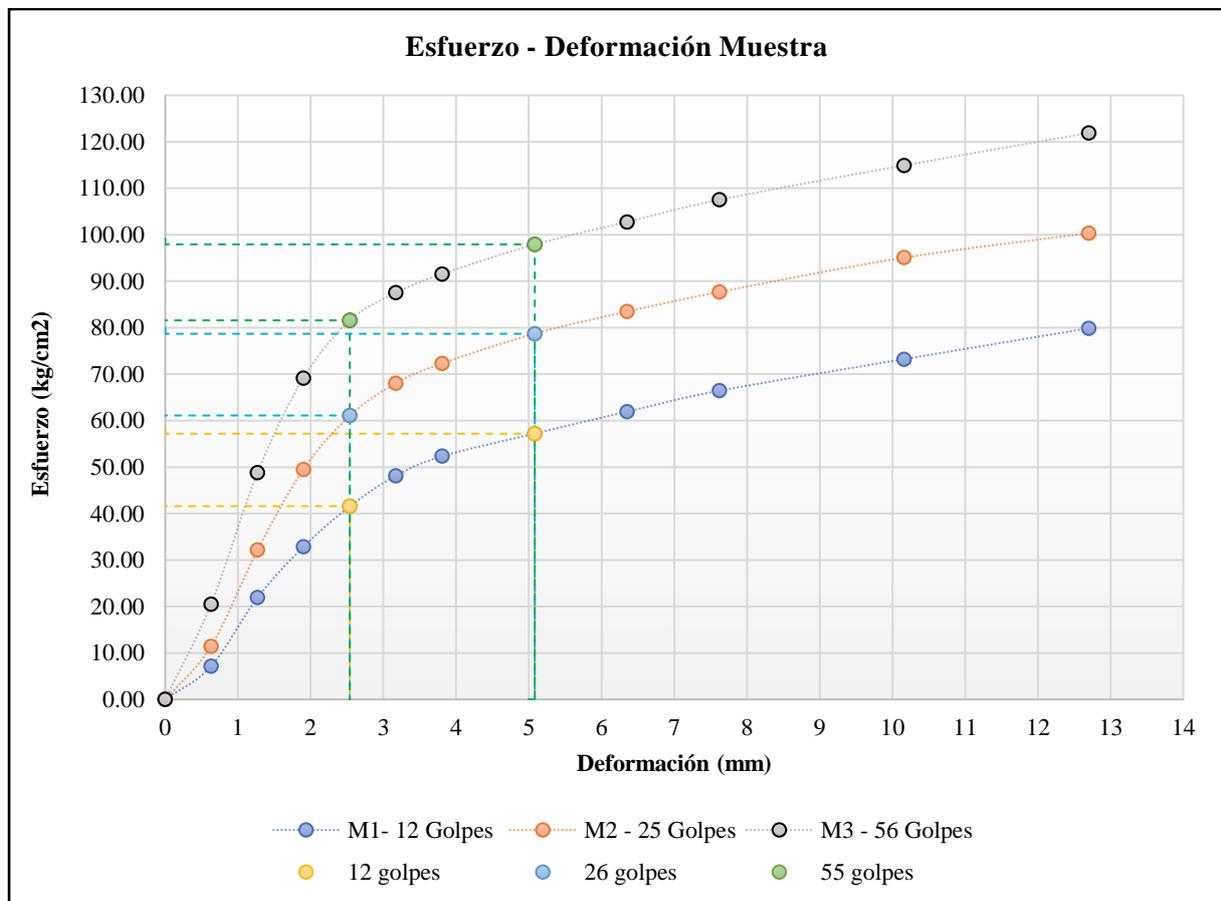
| Expansión  |             |              |       |             |              |       |             |              |       |
|------------|-------------|--------------|-------|-------------|--------------|-------|-------------|--------------|-------|
| Tiempo Hr. | Molde N° 01 |              |       | Molde N° 02 |              |       | Molde N° 03 |              |       |
|            | Dial *0.001 | Hinchamiento |       | Dial *0.001 | Hinchamiento |       | Dial *0.001 | Hinchamiento |       |
|            |             | mm           | %     |             | mm           | %     |             | mm           | %     |
| 0          | 491         | 12.471       | 0.000 | 151         | 3.835        | 0.000 | 315         | 8.001        | 0.000 |
| 24         | 524         | 13.310       | 0.718 | 178         | 4.521        | 0.587 | 362         | 9.195        | 1.022 |
| 48         | 526         | 13.360       | 0.761 | 180         | 4.572        | 0.631 | 364         | 9.246        | 1.066 |
| 72         | 527         | 13.386       | 0.783 | 181         | 4.597        | 0.652 | 365         | 9.271        | 1.087 |
| 96         | 528         | 13.411       | 0.805 | 182         | 4.623        | 0.674 | 366         | 9.296        | 1.109 |

| CBR CORREGIDO    |         |         |       |         |       |         |        |
|------------------|---------|---------|-------|---------|-------|---------|--------|
| Penetración (mm) | Carga   | MOLDE   |       |         |       |         |        |
|                  | Patron  | Molde 1 |       | Molde 2 |       | Molde 3 |        |
|                  | Kgf/cm2 | Kgf/cm2 | %     | Kgf/cm2 | %     | Kgf/cm2 | %      |
| 2.54             | 70.31   | 41.58   | 59.13 | 61.08   | 86.87 | 81.60   | 116.06 |
| 5.08             | 105.46  | 57.20   | 54.24 | 78.72   | 74.64 | 97.91   | 92.84  |

| CBR - Densidad Seca  |          |         |               | CBR al 100% de la MDS | 102.32 | % | 0.1" |
|----------------------|----------|---------|---------------|-----------------------|--------|---|------|
| Numero de Golpes     | 0.1"     | 0.2"    | Densidad Seca | CBR al 95% de la MDS  | 76.80  | % |      |
| 12                   | 59.13 %  | 54.24 % | 1.648         | CBR al 100% de la MDS | 84.28  | % | 0.2" |
| 25                   | 86.87 %  | 74.64 % | 1.756         | CBR al 95% de la MDS  | 67.80  | % |      |
| 56                   | 116.06 % | 92.84 % | 1.858         |                       |        |   |      |
| Densidad Seca Maxima |          | 1.81    | gr/cm3        |                       |        |   |      |

Fuente: Elaboración Propia.

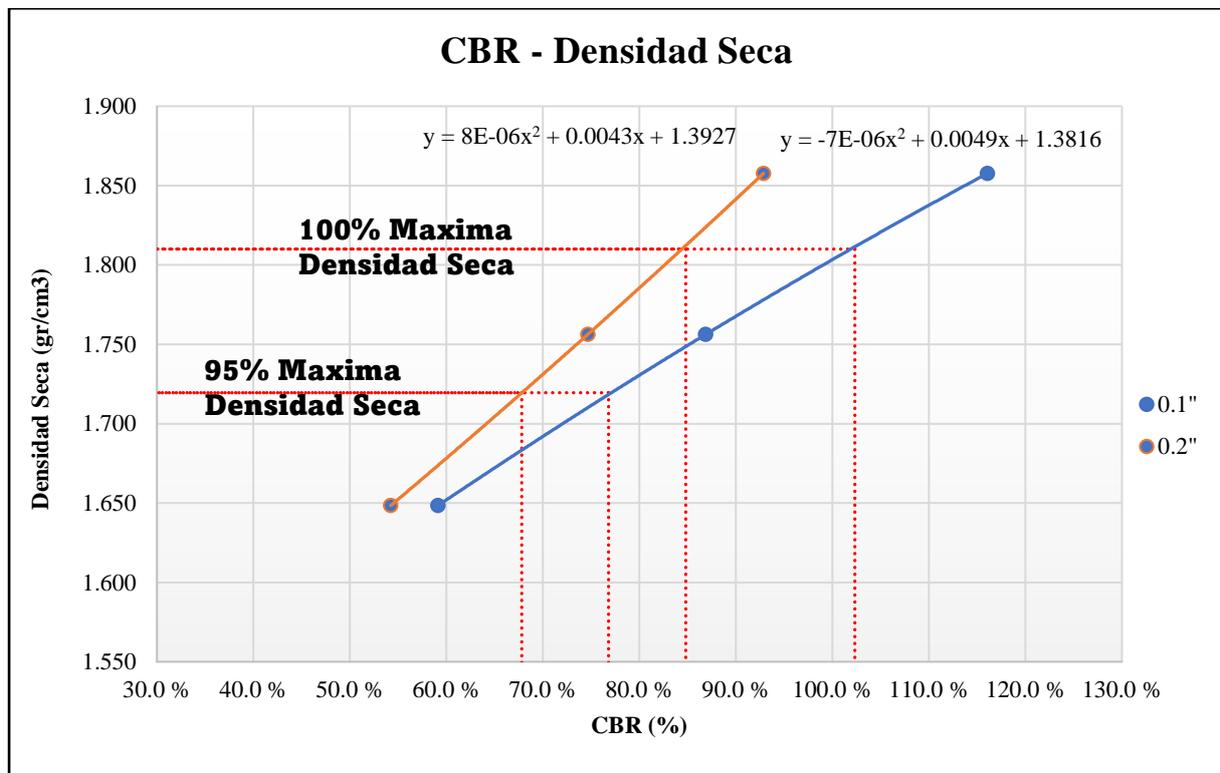
Figura 65. Grafica de Capacidad de Soporte CBR, Relación Esfuerzo – Deformación, Suelo Natural +4% de Cemento +2% de Estabilizador Z.



Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 66.** Grafica de Capacidad de Soporte, Densidad Seca – CBR, Suelo Natural +4% de Cemento Portland +2% de Estabilizador Z.



*Fuente: Elaboración Propia.*



**Tabla 62.** Análisis de datos del ensayo de Capacidad de Soporte CBR, Suelo Natural +4% Cemento Portland +4% de Estabilizador Z.

| UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO        |  | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA |                     | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |             |
|-------------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------|---|-------------|
| <b>CAPACIDAD DE SOPORTE CBR</b>     |  |                                       |                     |   |             |
| TESIS                               | INFLUENCIA DEL ESTABILIZADOR Z Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LAS PROPIEDADES FISICOMECHANICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA PROLONGACIÓN JOSE CARLOS MARIATEGUI - ALTO QOSQO - DISTRITO DE SAN SEBASTIAN - CUSCO - 2022 |                                       |                     |   |             |
| ENSAYO                              | CAPACIDAD DE SOPORTE CBR   |                                       |                     |   |             |
| REFERENCIA                          | MTC E 132 - CBR DE SUELOS  |                                       |                     |   |             |
| MUESTRA                             | SUELO NATURAL + 4% CEMENTO + 4% ESTABILIZADOR Z  |                                       |                     |   |             |
| FECHA                               | 02/05/2023   |                                       |                     |   |             |
| LUGAR                               | LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                                       |                     |   |             |
| TESISTAS                            | MAX ESTRADA TUEROS, OSCAR FERRER PONCE   |                                       |                     |   |             |
| <b>DATOS PRELIMINARES</b>           |  |                                       |                     |   |             |
| <b>Datos del Proctor Modificado</b> |  |                                       |                     |   |             |
| Densidad Seca Maxima                | 1.814  | Contenido de Humedad Optimo           |                     | 15.90                                   | N° de Capas |
| Disco Espaciador                    | 6.13   | cm                                    | Diametro del Piston | 4.96                                    | cm          |
| <b>COMPACTACIÓN</b>                 |  |                                       |                     |   |             |
| N° de Molde                         | #  | 1                                     | 2                   | 3                                       |             |
| N° de Golpes por Capa               | #  | 12                                    | 26                  | 55                                      |             |
| Altura del Molde                    | cm   | 17.81                                 | 17.83               | 17.81                                   |             |
| Diametro del Molde                  | cm   | 15.21                                 | 15.20               | 15.20                                   |             |
| Volmen de molde                     | cm <sup>3</sup>  | 2122.22                               | 2123.06             | 2119.43                                 |             |
| Peso de molde                       | gr   | 7971.8                                | 6915                | 7519.9                                  |             |
| <b>CONDICION DE LA MUESTRA</b>      |  | <b>No Saturado</b>                    |                     | <b>No Saturado</b>                      |             |
| Peso molde + Suelo humedo           | gr   | 12169.83                              | 11197.16            | 12047.86                                |             |
| Peso de suelo humedo                | gr   | 4198.03                               | 4282.16             | 4527.96                                 |             |
| Densidad Humeda                     | gr/cm <sup>3</sup>   | 1.98                                  | 2.02                | 2.14                                    |             |
| Tara N°                             | N°   | 1                                     | 2                   | 3                                       |             |
| Tara + Suelo húmedo                 | gr   | 614.66                                | 609.76              | 652.73                                  |             |
| Tara + Suelo seco                   | gr   | 533.71                                | 535.28              | 576.27                                  |             |
| Peso de agua                        | gr   | 80.95                                 | 74.48               | 76.46                                   |             |
| Peso de tara                        | gr   | 81.7                                  | 82.8                | 110.8                                   |             |
| Peso de suelo seco                  | gr   | 452.01                                | 452.48              | 465.47                                  |             |
| % de humedad                        | %  | 17.91                                 | 16.46               | 16.43                                   |             |
| Densidad Seca                       | gr/cm <sup>3</sup>   | 1.678                                 | 1.732               | 1.835                                   |             |

| <b>PENETRACIÓN</b> |             |               |                |                    |               |                |                    |               |                |                    |
|--------------------|-------------|---------------|----------------|--------------------|---------------|----------------|--------------------|---------------|----------------|--------------------|
| Penetración        |             | Molde N° 1    |                |                    | Molde N° 2    |                |                    | Molde N° 3    |                |                    |
|                    |             | Carga         | Carga          | Esfuerzo           | Carga         | Carga          | Esfuerzo           | Carga         | Carga          | Esfuerzo           |
| pulg               | mm          | Kn            | Kgf            | kg/cm <sup>2</sup> | Kn            | Kgf            | kg/cm <sup>2</sup> | Kn            | Kgf            | kg/cm <sup>2</sup> |
| 0.000              | 0           | 0.000         | 0.00           | 0.00               | 0.000         | 0.00           | 0.00               | 0.000         | 0.00           | 0.00               |
| 0.025              | 0.63        | 5.042         | 514.13         | 26.61              | 4.036         | 411.55         | 21.30              | 4.838         | 493.33         | 25.53              |
| 0.050              | 1.27        | 8.143         | 830.34         | 42.97              | 8.622         | 879.19         | 45.50              | 10.696        | 1090.67        | 56.45              |
| 0.075              | 1.9         | 9.720         | 991.15         | 51.30              | 12.243        | 1248.42        | 64.61              | 15.133        | 1543.11        | 79.86              |
| <b>0.100</b>       | <b>2.54</b> | <b>10.838</b> | <b>1105.15</b> | <b>57.20</b>       | <b>15.403</b> | <b>1570.64</b> | <b>81.29</b>       | <b>18.388</b> | <b>1875.02</b> | <b>97.04</b>       |
| 0.125              | 3.17        | 11.749        | 1198.05        | 62.00              | 17.452        | 1779.58        | 92.10              | 20.993        | 2140.66        | 110.79             |
| 0.150              | 3.81        | 12.585        | 1283.29        | 66.42              | 18.813        | 1918.36        | 99.28              | 23.006        | 2345.92        | 121.41             |
| <b>0.200</b>       | <b>5.08</b> | <b>13.753</b> | <b>1402.39</b> | <b>72.58</b>       | <b>20.682</b> | <b>2108.94</b> | <b>109.15</b>      | <b>25.847</b> | <b>2635.62</b> | <b>136.40</b>      |
| 0.250              | 6.35        | 14.276        | 1455.72        | 75.34              | 21.959        | 2239.16        | 115.89             | 27.411        | 2795.10        | 144.66             |
| 0.300              | 7.62        | 14.557        | 1484.38        | 76.82              | 22.793        | 2324.20        | 120.29             | 28.697        | 2926.23        | 151.45             |
| 0.400              | 10.16       | 15.119        | 1541.68        | 79.79              | 23.885        | 2435.55        | 126.05             | 30.327        | 3092.44        | 160.05             |
| 0.500              | 12.7        | 15.529        | 1583.49        | 81.95              | 24.666        | 2515.19        | 130.17             | 31.111        | 3172.39        | 164.18             |



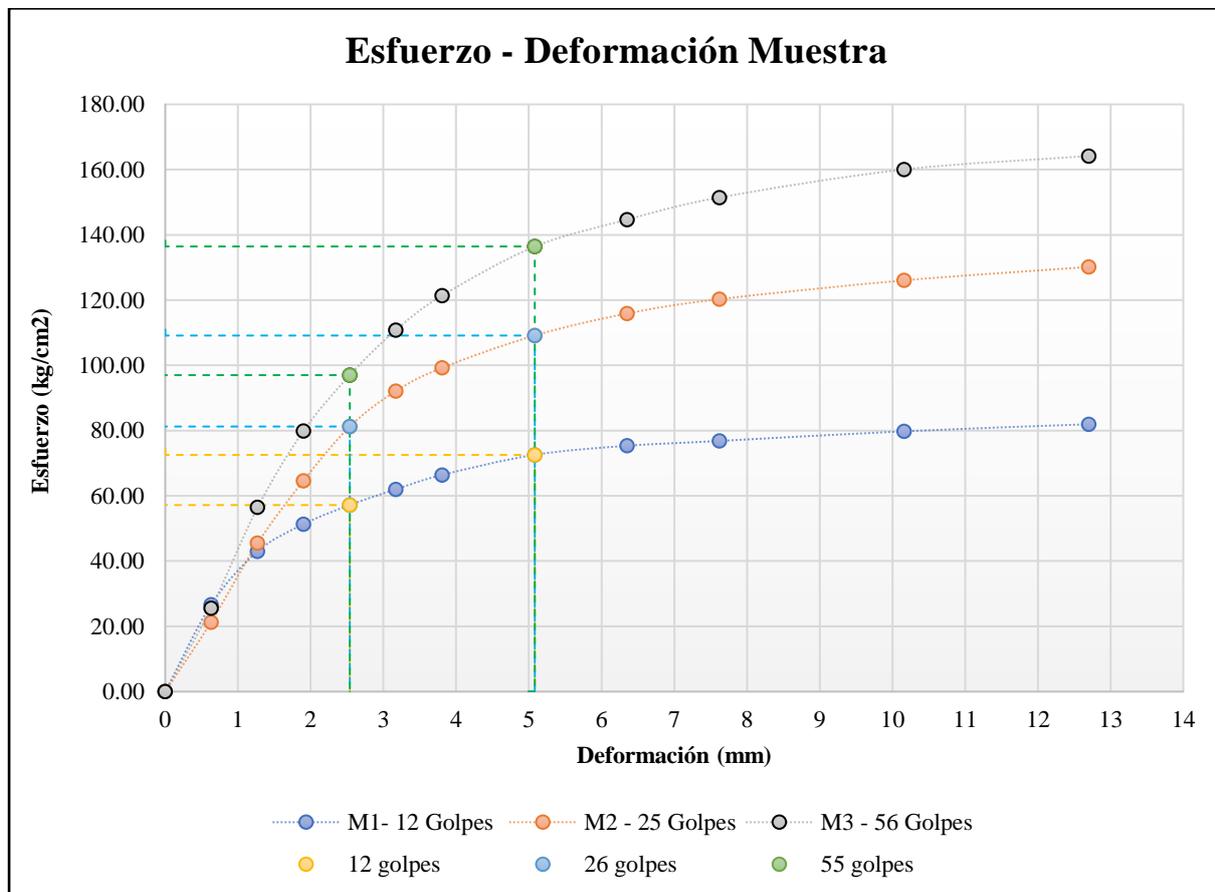
| Expansión  |             |              |       |             |              |       |             |              |       |
|------------|-------------|--------------|-------|-------------|--------------|-------|-------------|--------------|-------|
| Tiempo Hr. | Molde N° 01 |              |       | Molde N° 02 |              |       | Molde N° 03 |              |       |
|            | Dial *0.001 | Hinchamiento |       | Dial *0.001 | Hinchamiento |       | Dial *0.001 | Hinchamiento |       |
|            |             | mm           | %     |             | mm           | %     |             | mm           | %     |
| 0          | 248         | 6.299        | 0.000 | 40          | 1.016        | 0.000 | 145         | 3.683        | 0.000 |
| 24         | 263         | 6.680        | 0.326 | 42          | 1.067        | 0.043 | 147         | 3.734        | 0.043 |
| 48         | 264         | 6.706        | 0.348 | 43          | 1.092        | 0.065 | 147         | 3.741        | 0.050 |
| 72         | 264         | 6.716        | 0.357 | 44          | 1.118        | 0.087 | 148         | 3.747        | 0.054 |
| 96         | 265         | 6.731        | 0.370 | 45          | 1.143        | 0.109 | 148         | 3.759        | 0.065 |

| CBR CORREGIDO    |         |         |       |         |        |         |        |
|------------------|---------|---------|-------|---------|--------|---------|--------|
| Penetración (mm) | Carga   | MOLDE   |       |         |        |         |        |
|                  | Patron  | Molde 1 |       | Molde 2 |        | Molde 3 |        |
|                  | Kgf/cm2 | Kgf/cm2 | %     | Kgf/cm2 | %      | Kgf/cm2 | %      |
| 2.54             | 70.31   | 57.20   | 81.35 | 81.29   | 115.61 | 97.04   | 138.02 |
| 5.08             | 105.46  | 72.58   | 68.82 | 109.15  | 103.50 | 136.40  | 129.34 |

| CBR - Densidad Seca  |          |          |               | CBR al 100% de la MDS |        | 0.1" |
|----------------------|----------|----------|---------------|-----------------------|--------|------|
| Numero de Golpes     | 0.1"     | 0.2"     | Densidad Seca | CBR al 95% de la MDS  | %      |      |
| 12                   | 81.35 %  | 68.82 %  | 1.678         | CBR al 100% de la MDS | 124.90 | %    |
| 25                   | 115.61 % | 103.50 % | 1.732         | CBR al 95% de la MDS  | 99.95  | %    |
| 56                   | 138.02 % | 129.34 % | 1.835         |                       |        |      |
| Densidad Seca Maxima |          | 1.814    | gr/cm3        |                       |        |      |

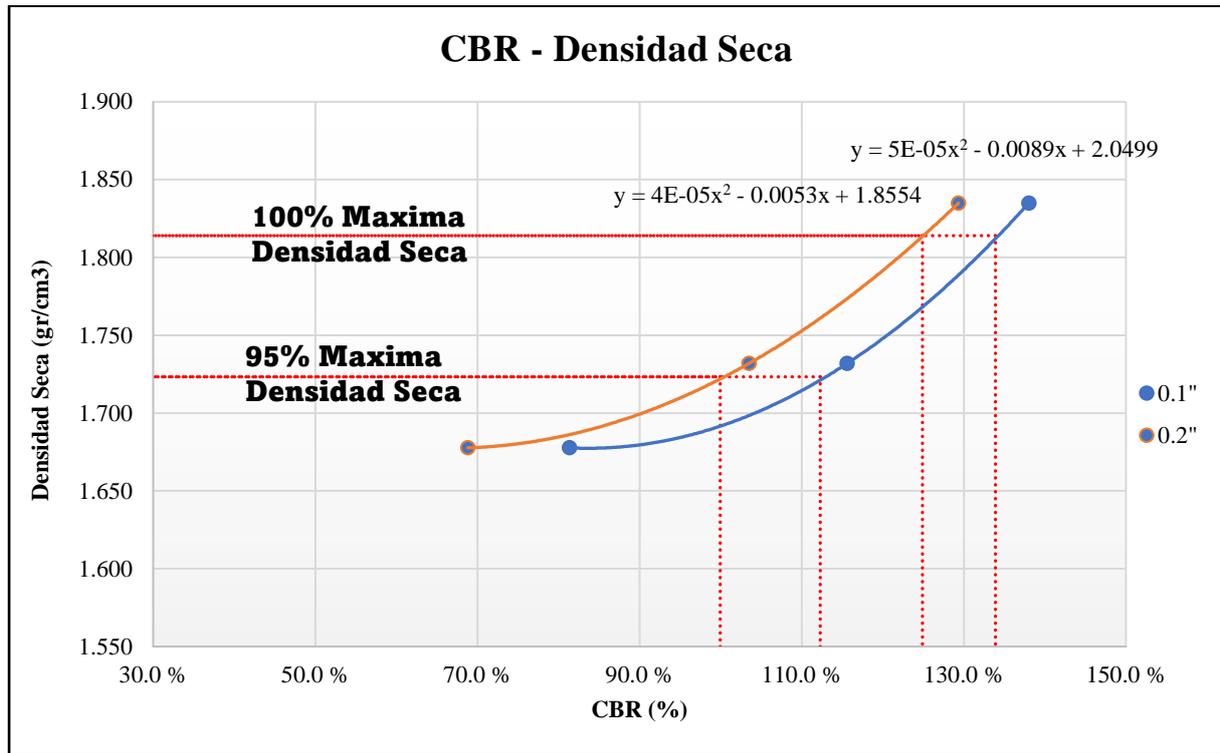
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 67. Grafica de Capacidad de Soporte CBR, Relación Esfuerzo – Deformación, Suelo Natural +4% de Cemento +4% de Estabilizador Z.



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 68.** Grafica de Capacidad de Soporte, Densidad Seca – CBR, Suelo Natural +4% de Cemento Portland +4% de Estabilizador Z.



*Fuente: Elaboración Propia.*

**b) Comentario de los resultados obtenidos en la prueba**

Del ensayo CBR se obtuvo los resultados mostrados en la siguiente tabla:

**Tabla 63.** Resumen del ensayo de Capacidad de Soporte CBR del Suelo natural y con las diferentes dosificaciones de Cemento Portland y Estabilizador Z.

| DESCRIPCION                                     | CBR 0.1"              |                      | CBR 0.2"              |                      |
|---|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
|   | CBR al 100% de la MDS | CBR al 95% de la MDS | CBR al 100% de la MDS | CBR al 95% de la MDS |
| Suelo Natural                                   | 13.77%                | <b>10.07%</b>        | 15.26%                | 11.12%               |
| Suelo Natural + 4% Cemento                      | 97.80%                | 70.80%               | 81.32%                | <b>63.20%</b>        |
| Suelo Natural + 4% Cemento + 1% Estabilizador Z | 77.25%                | 62.80%               | 69.74%                | <b>56.79%</b>        |
| Suelo Natural + 4% Cemento + 2% Estabilizador Z | 102.32%               | 76.80%               | 84.28%                | <b>67.80%</b>        |
| Suelo Natural + 4% Cemento + 4% Estabilizador Z | 133.90%               | 112.29%              | 124.90%               | <b>99.95%</b>        |

*Fuente: Elaboración Propia.*



La norma ASTM D-1883 indica que el valor del CBR del suelo se considera generalmente como el menor valor obtenido en los niveles de penetración del 95% de la densidad seca máxima de la muestra. Esto significa que se toma el valor más bajo del CBR entre los dos niveles de penetración (0.1 y 0.2 pulgadas) a partir del cual la muestra aún conserva el 95% de su densidad seca máxima.

El suelo natural presenta un CBR de 10.07% el cual incrementa notablemente con la adición de cemento al 4% obteniendo un CBR del 63.20%. En la adición del 1% de estabilizador Z notamos una disminución del CBR con un resultado del 56.79% pero que al incrementar el 2% de estabilizador Z el valor aumenta a un CBR de 67.80% y al 4% de estabilizador Z se obtiene un valor del 99.95% aumentando el CBR considerablemente en comparación al suelo natural.



## Capítulo IV: Resultados

### 4.1. Resultados respecto a los objetivos específicos

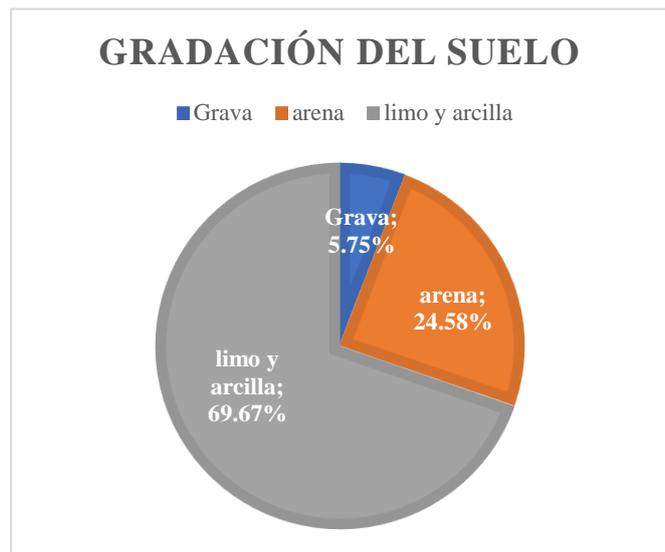
Luego de la recolección y procesamiento de los datos, para su respectiva evaluación y análisis, se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al material extraído de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo, del suelo natural y con adición de Cemento Portland Tipo IP (4%) y Estabilizador Z (1, 2 y 4%) para subrasante, de acuerdo a las normas técnicas vigentes nacionales e internacionales, realizadas en el laboratorio de Suelos y concreto de la Universidad Andina del Cusco.

Para facilitar la visualización y comprensión de la información, se presentan los resultados en tablas y figuras resúmenes con los datos detallados de los ensayos realizados.

#### 4.1.1. Resultados de Ensayo de Granulometría por Tamizado

**Figura 69.** Distribución del tamaño de partícula del ensayo granulométrico del suelo de la Calicata C-1.

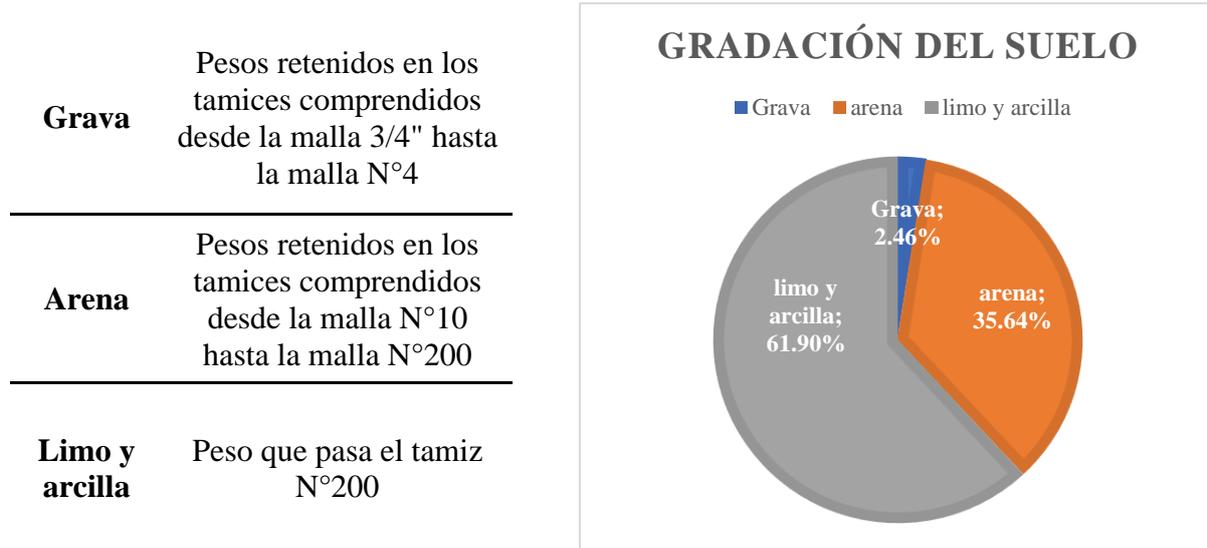
|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>Grava</b>          | Pesos retenidos en los tamices comprendidos desde la malla 3/4" hasta la malla N°4   |
| <b>Arena</b>          | Pesos retenidos en los tamices comprendidos desde la malla N°10 hasta la malla N°200 |
| <b>Limo y arcilla</b> | Peso que pasa el tamiz N°200   |



*Fuente: Elaboración Propia.*

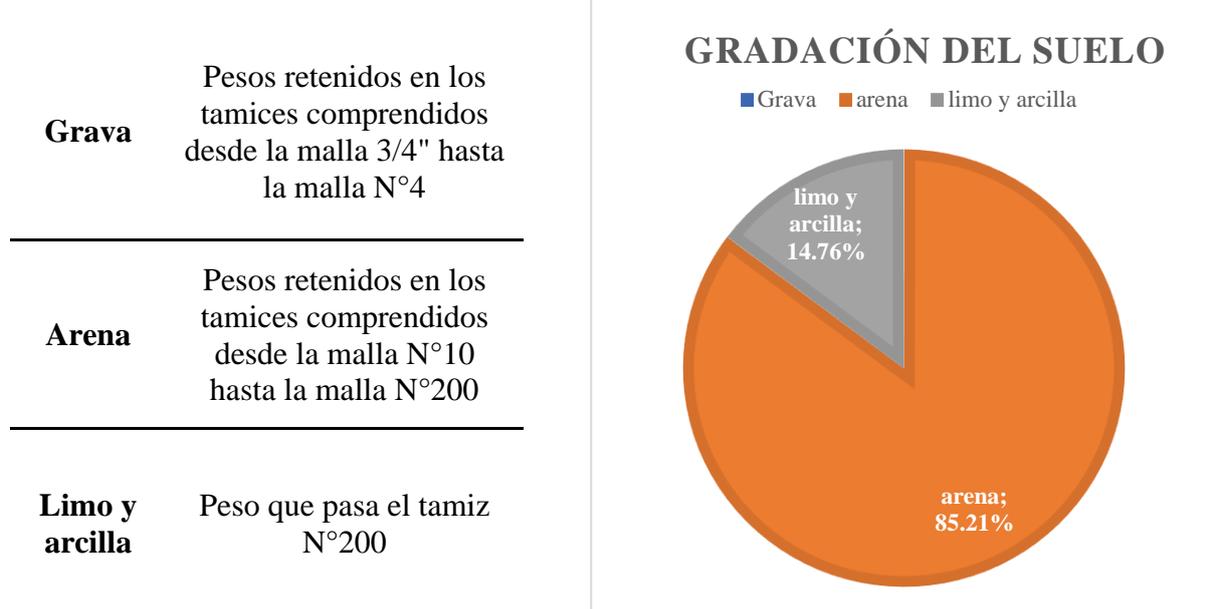


**Figura 70.** Distribución del tamaño de partícula del ensayo granulométrico del suelo de la Calicata C-2.



*Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura 71.** Distribución del tamaño de partícula del ensayo granulométrico del suelo de la Calicata C-3.

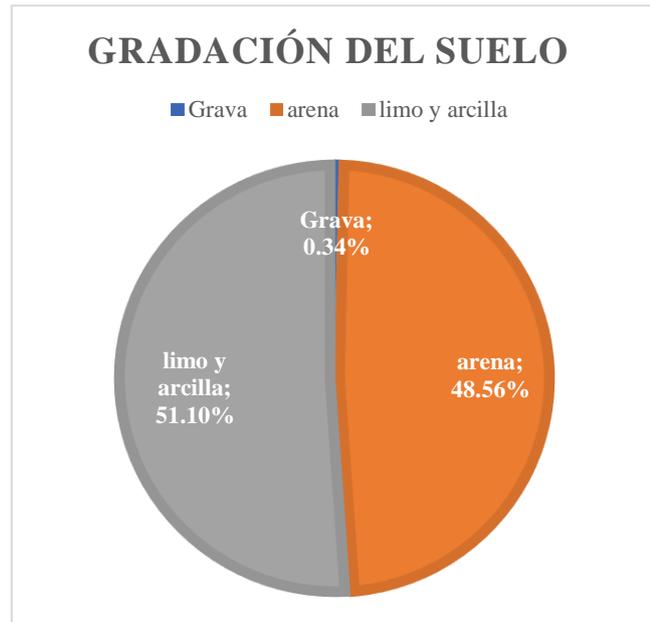


*Fuente: Elaboración Propia.*



**Figura 72.** Distribución del tamaño de partícula del ensayo granulométrico del suelo de la Calicata C-4.

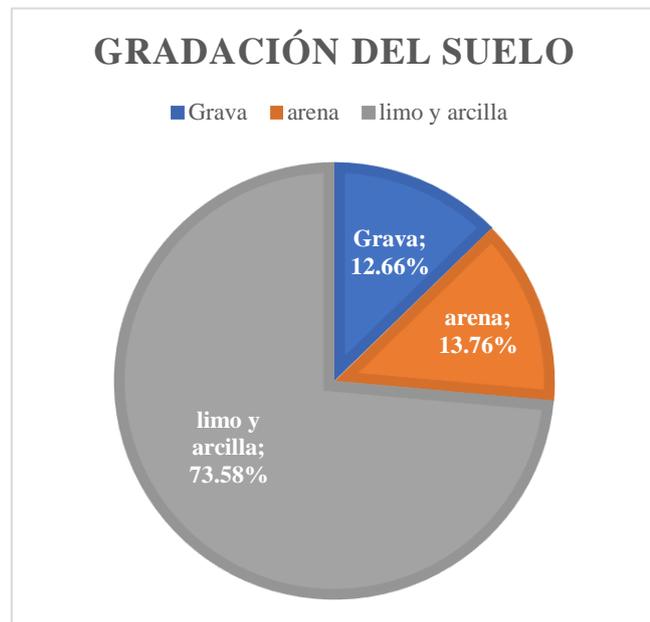
|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>Grava</b>          | Pesos retenidos en los tamices comprendidos desde la malla 3/4" hasta la malla N°4   |
| <b>Arena</b>          | Pesos retenidos en los tamices comprendidos desde la malla N°10 hasta la malla N°200 |
| <b>Limo y arcilla</b> | Peso que pasa el tamiz N°200   |



*Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura 73.** Distribución del tamaño de partícula del ensayo granulométrico del suelo de la Calicata C-5.

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>Grava</b>          | Pesos retenidos en los tamices comprendidos desde la malla 3/4" hasta la malla N°4   |
| <b>Arena</b>          | Pesos retenidos en los tamices comprendidos desde la malla N°10 hasta la malla N°200 |
| <b>Limo y arcilla</b> | Peso que pasa el tamiz N°200   |



*Fuente: Elaboración Propia.*



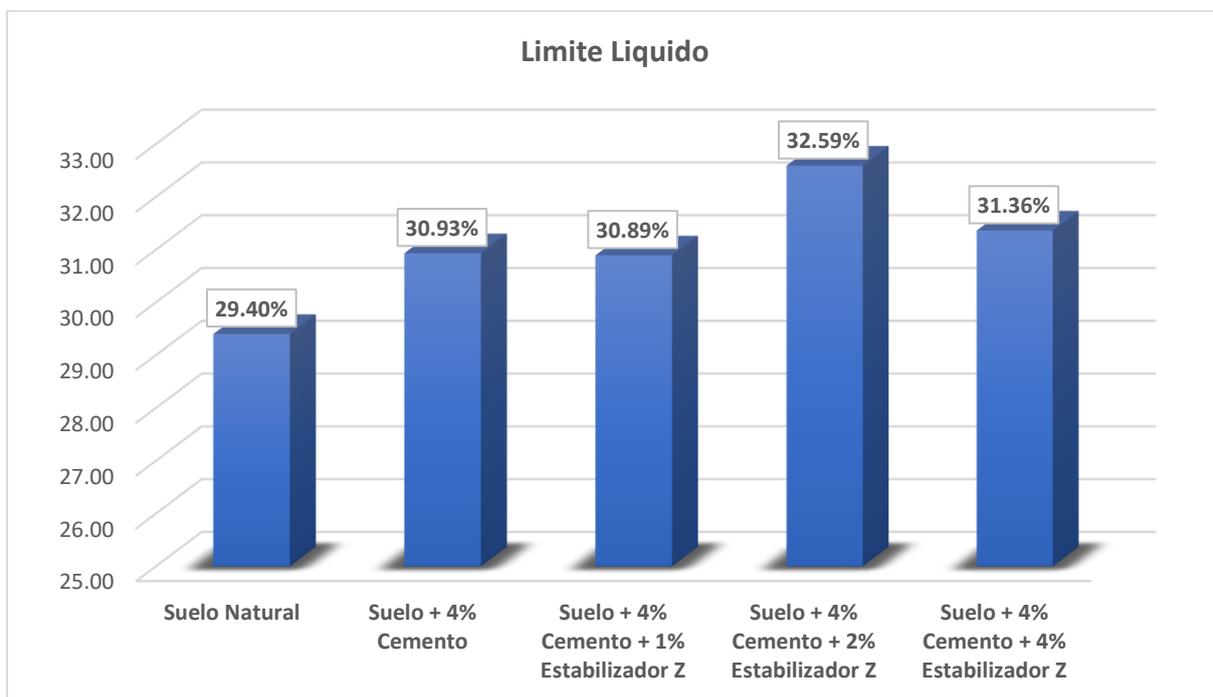
Una vez determinados los ensayos de Granulometría por Tamizado podemos observar los porcentajes de grava, arena y limo y arcilla, revisando que los ensayos de las calicatas C-2 y C-3 tienen una cantidad baja de gravas igual a: 0.03% y 0.34% mientras que su cantidad de arena es de: 85.21% y 48.56% y su contenido de limo y arcilla: 14.76% y 51.10%.

Las calicatas C-1, C-4 y C-5 presentan contenidos de grava igual a: 5.75%, 0.34% y 12.66% mientras que su cantidad de arena es de: 24.58%, 48.56% y 13.76% y su contenido de limo y arcilla: 69.67%, 51.10% y 73.58%.

La calicata C-5 presenta un suelo con porcentaje de finos de 73.58 % siendo este el mayor valor en comparación a los suelos de las demás calicatas, por lo cual esta fue la calicata elegida patrón en la cual se realizaron los demás ensayos.

#### 4.1.2. Resultados de Ensayo de Límites de Consistencia

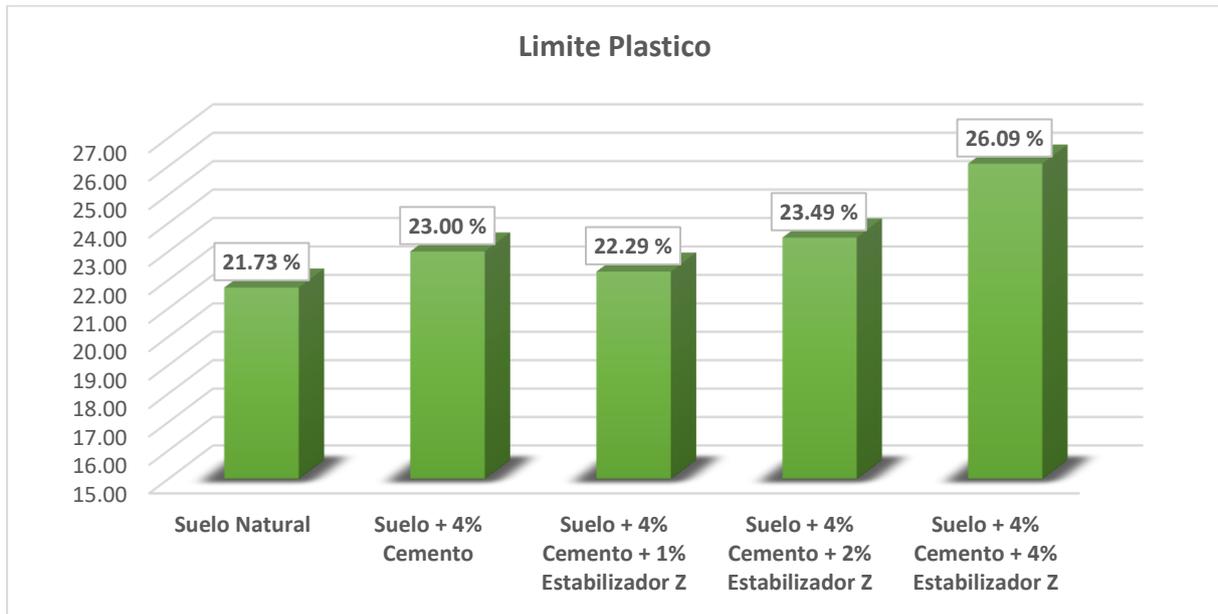
**Figura 74.** Límite Líquido del suelo natural y las diferentes dosificaciones de Cemento y Estabilizador Z.



*Fuente: Elaboración Propia.*



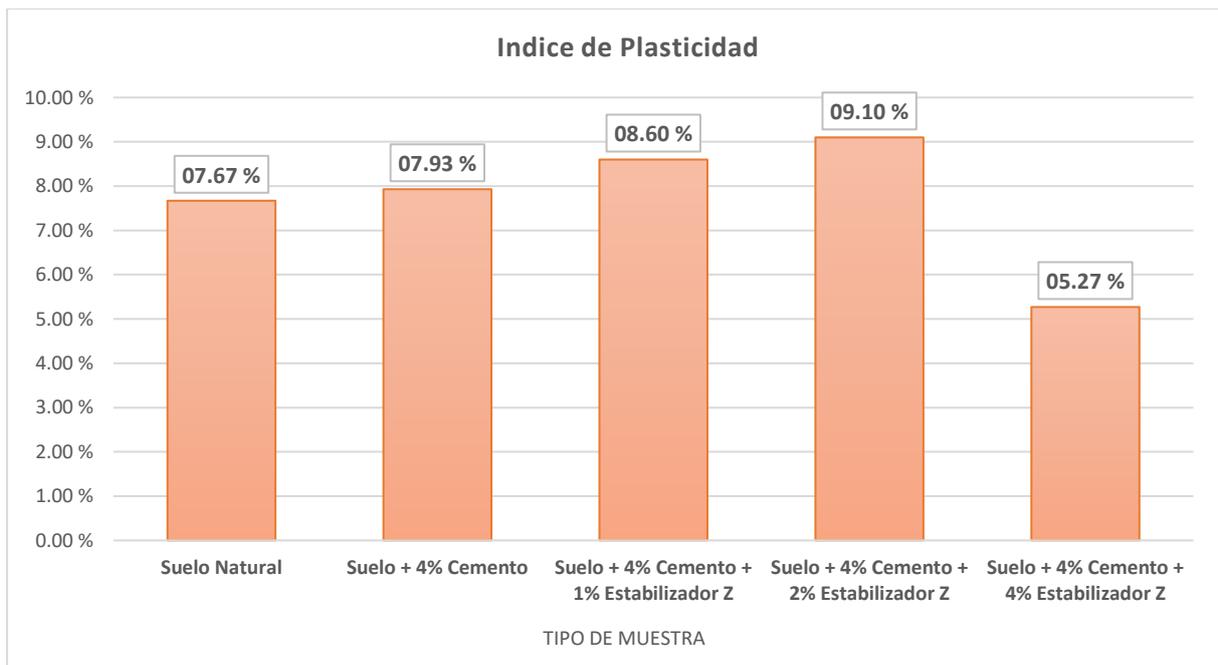
**Figura 75.** Límite Plástico del suelo natural y las diferentes dosificaciones de Cemento y Estabilizador Z.



*Fuente: Elaboración Propia.*

Los resultados presentados de acuerdo a su clasificación SUCS y ASSHTO nos indican que el suelo natural en estudio se trata de una arcilla media plasticidad arenosa CL; A- 6 Suelo Arcilloso. Resultados validados en función a los ensayos de Límites de Atterberg.

**Figura 76.** Índice de Plasticidad del suelo natural y las diferentes dosificaciones de Cemento y Estabilizador Z.



*Fuente: Elaboración Propia.*



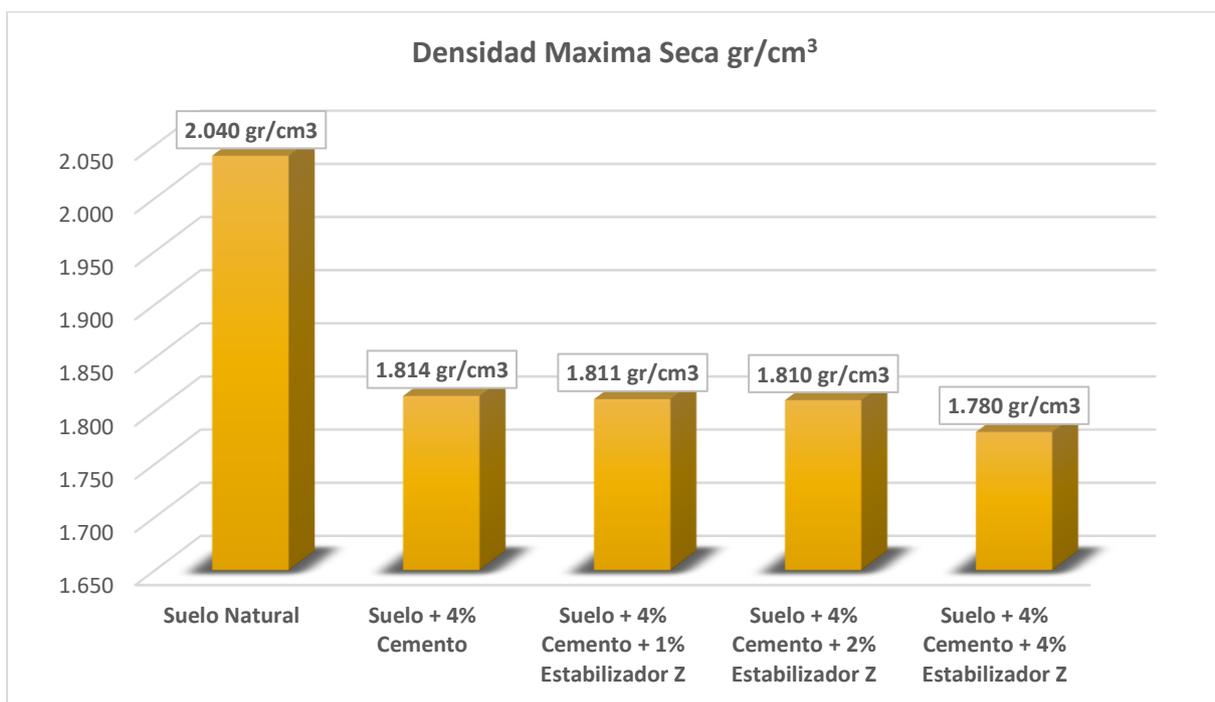
Una vez determinados el Límite líquido y Límite plástico se calcula el Índice de plasticidad que resulta de la diferencia entre los valores de ambos líquidos. Se observa que para el suelo natural el índice de plasticidad del suelo natural es de 7.67%.

Por su parte con la adición de (4%) Cemento y (1%, 2%, 4%) de Estabilizador Z los resultados fueron los siguientes:

Con la adición de Cemento 4% el índice de plasticidad es 7.05%. Con la adición de 4% Cemento + 1% Estabilizador Z se obtuvo un índice de plasticidad de 8.60%, 4% Cemento + 2% Estabilizador Z se obtuvo un índice de plasticidad de 9.10% finalmente adicionando 4% Cemento + 4% Estabilizador Z se logró un índice de plasticidad de 5.27%.

#### 4.1.3. Resultados de Ensayo de Proctor Modificado

**Figura 77.** Densidad Máxima Seca del suelo natural y las diferentes dosificaciones de Cemento y Estabilizador Z.

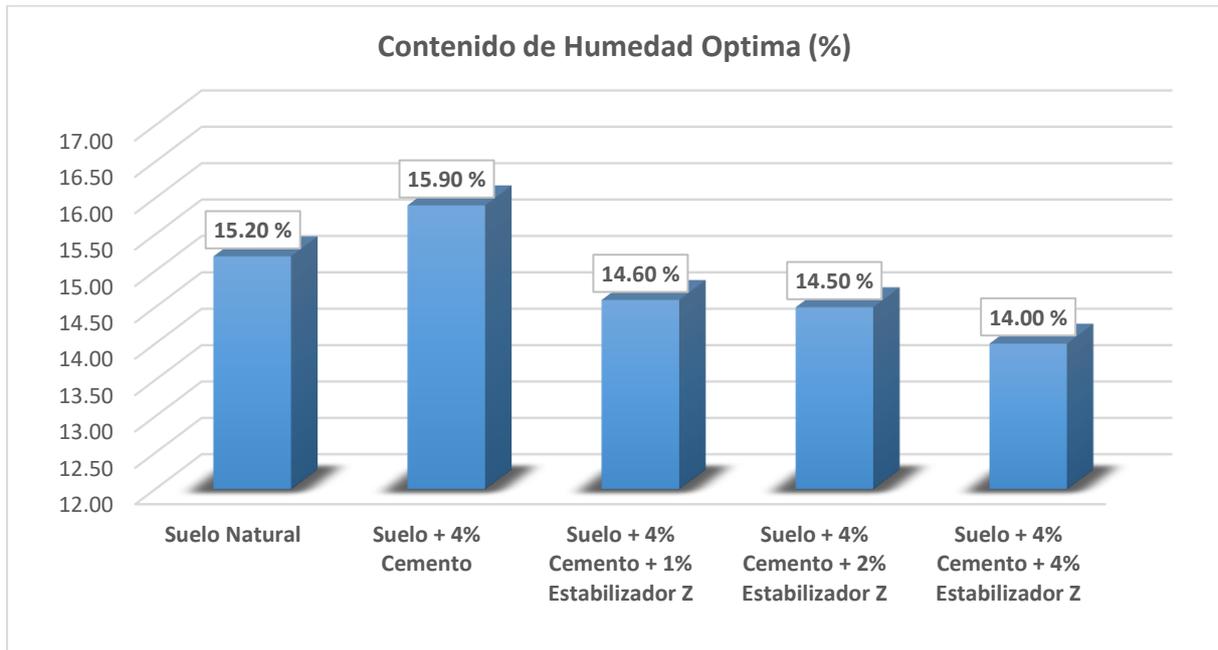


*Fuente: Elaboración Propia.*

En el gráfico se observa que, al ir incrementando el porcentaje de adición de Cemento y Estabilizador Z, la densidad máxima seca va disminuyendo.



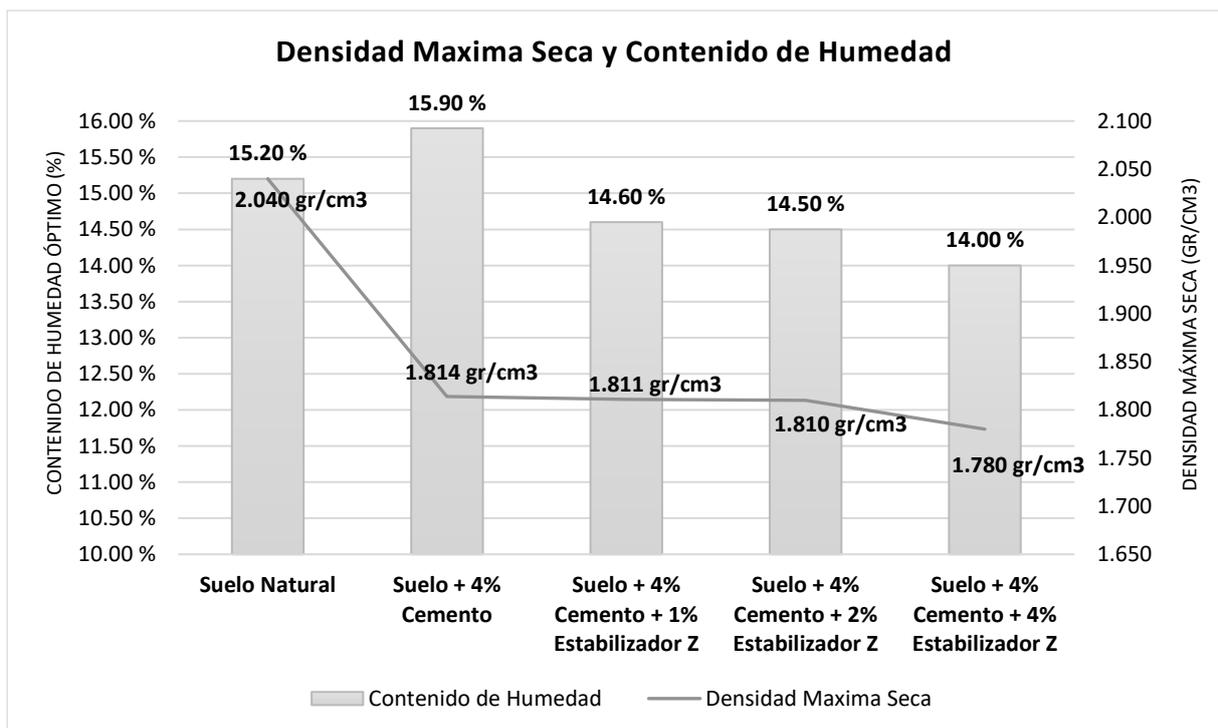
**Figura 78.** Contenido Optimo de Humedad del suelo natural y las diferentes dosificaciones de Cemento y Estabilizador Z.



*Fuente: Elaboración Propia.*

Podemos observar que, al ir incrementando el porcentaje de adición de Cemento y Estabilizador Z, el contenido óptimo de Humedad va disminuyendo.

**Figura 79.** Densidad Máxima seca y Contenido Optimo de Humedad del suelo natural y las diferentes dosificaciones de Cemento y Estabilizador Z.



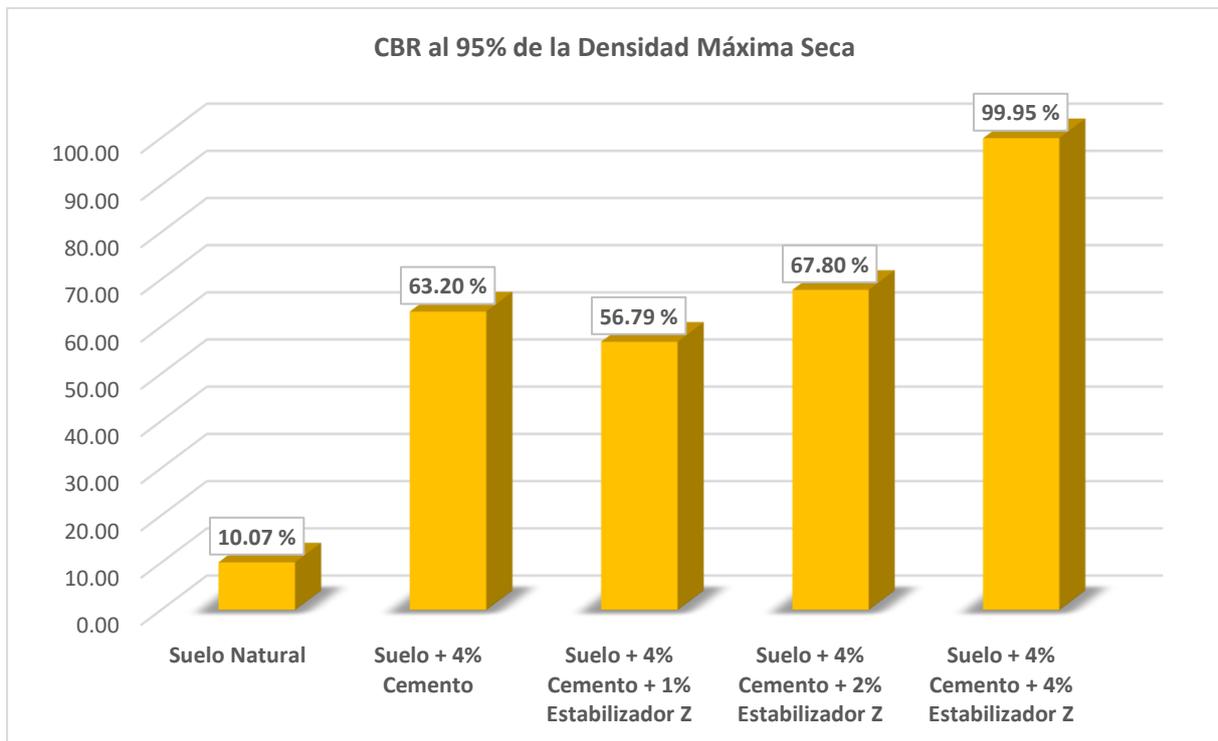
*Fuente: Elaboración Propia.*



Se observa un aumento del contenido de humedad con la adición de 4 % cemento, pero una reducción en la densidad máxima seca, por otra parte, una tendencia de disminución de los valores de contenido óptimo de humedad y densidad máxima seca proporcional a la adición de 4% Cemento y (1%, 2%, 4%) de Estabilizador Z.

#### 4.1.3. Resultados de Ensayo de Capacidad de Soporte CBR.

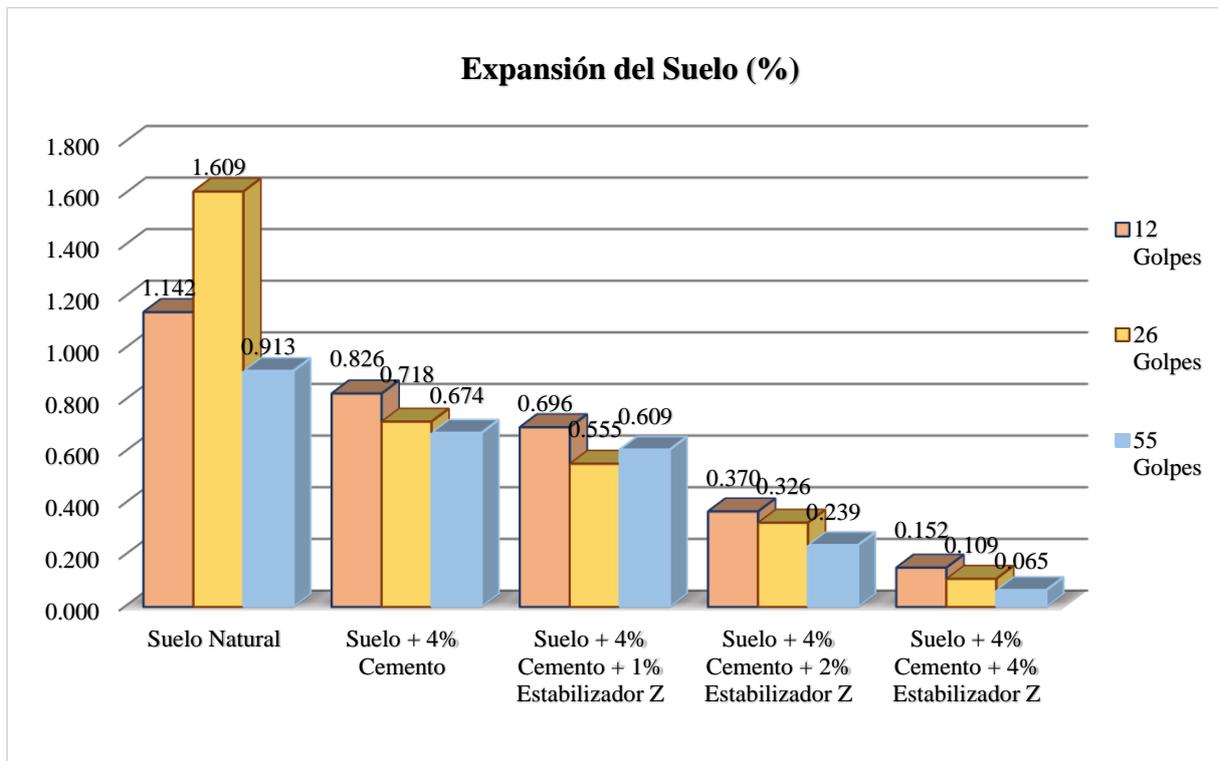
**Figura 80.** CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca del suelo natural y las diferentes dosificaciones de Cemento y Estabilizador Z.



*Fuente: Elaboración Propia.*

En el gráfico podemos observar que, el CBR del suelo natural es de un 10.07% y que, al ir incrementando el porcentaje de adición de Cemento y Estabilizador Z, el CBR de la densidad máxima seca va aumentando en porcentajes del 63.20%, 56.79%, 67.80% y 99.95% respectivamente, haciendo también mención en una ligera disminución en la adición de 1% de aditivo a comparación del cemento de un 4%.

**Figura 81.** Expansión del CBR del suelo natural y las diferentes dosificaciones de Cemento y Estabilizador Z.



*Fuente: Elaboración Propia.*

En el gráfico podemos observar la expansión del suelo compactado a 12, 26 y 55 golpes sumergido durante cuatro días donde la expansión del suelo natural baja secuencialmente a medida en la que adicionando porcentajes de Cemento y Estabilizador Z con valores: 1.142% para 12 golpes, 1.609% para 26 golpes y 0.913% para 55 golpes para suelo natural, 0.826% para 12 golpes, 0.718% para 26 golpes y 0.674% para 55 golpes para suelo natural +4% de Cemento Portland, 0.696% para 12 golpes, 0.555% para 26 golpes y 0.609% para 55 golpes para suelo natural +4% de Cemento Portland +1% de Estabilizador Z, 0.370% para 12 golpes, 0.326% para 26 golpes y 0.239% para 55 golpes para suelo natural +4% de Cemento Portland +2% de Estabilizador Z y 0.152% para 12 golpes, 0.109% para 26 golpes y 0.065% para 55 golpes para suelo natural +4% de Cemento Portland +4% de Estabilizador Z.



## Capítulo V: Discusión

### Discusión N° 01:

**¿Cuál fue el método de selección del suelo en estudio y por qué se usó solo un tipo de suelo en todo el estudio?**

Siendo el principal objetivo de la presente investigación la demostración de que los aditivos propuestos funcionan y se reflejen en las propiedades físico – mecánicas del suelo, obedeciendo al manual de Carreteras - Sección suelos y pavimentos se realizó la extracción de cinco (5) calicatas a cada 250 metros en una longitud de 1km del tramo en estudio, a las cuales se le realizaron los ensayos preliminares de clasificación de partículas y suelos, escogiendo aquella calicata que posea los valores más deficientes y críticos , siendo esta la muestra que se utilizó durante todo el desarrollo de la investigación.

### Discusión N° 02:

**¿Por qué es necesario buscar nuevas alternativas de aditivos para estabilización de suelos?**

En la actualidad encontramos variedad de aditivos comerciales que son vendidos como estabilizadores de suelos, esto nos da hincapié a que se puedan investigar y encontrar más alternativas de estabilizantes que puedan tener mejores resultados en su aplicación y uso.

En el caso de la presente investigación se optó por el estudio en la aplicación de este aditivo Estabilizador Z porque es un aditivo que es un producto relativamente nuevo en el mercado y no hay muchas investigaciones acerca de este aditivo, se cuenta con disponibilidad del producto contando con una tienda física en la ciudad del Cusco para su compra y abastecimiento, en tema de costos este aditivo es un producto accesible en comparación con otros aditivos en el mercado, los cuales según disponibilidad se tienen que hacer un pedido y elevarían sus costos por el tema de transporte y tiempo.

En nuestro país, contamos con diversos tipos de suelo, he ahí la importancia de la investigación continua de diferentes propuestas de nuevos aditivos para que puedan satisfacer las exigencias de cada proyecto o necesidad respectiva.

### Discusión N° 03:

**¿Cómo se eligió el procedimiento para la evaluación del suelo con los aditivos propuestos?**

Para la clasificación del suelo se utilizaron los ensayos de Granulometría y Límites de Consistencia, luego, para evaluar la densidad máxima seca y obtener los valores de contenido



óptimo de humedad se utilizó el ensayo de Proctor modificado, además como parámetro principal se eligió el valor de la resistencia a la compresión obtenida del ensayo de relación de soporte California CBR, cada uno de estos aplicados al suelo natural y con los aditivos de Cemento y Estabilizador Z, respetando los parámetros establecidos en las normas y manuales vigentes respecto a suelos y geotecnia, esto nos permitió visualizar los resultados que fueron evaluados y comparados con referencia al suelo estabilizado y el suelo natural.

#### **Discusión N° 04:**

##### **¿Qué aportes resultaron como producto de la presente investigación?**

Se obtuvo el Contenido de Humedad óptimo del suelo natural y con la adición de Cemento (4%) y Estabilizador Z (1%,2%,4%) respectivamente. El contenido de humedad es una propiedad importante y determinante en el comportamiento de los suelos finos ya que modifica su consistencia.

Se obtuvo el porcentaje de adición (4% Cemento + 4% Estabilizador Z) con el cual se obtiene una disminución considerable en el índice de plasticidad.

En la presente investigación también se obtuvo el valor de la resistencia a la compresión mediante el ensayo CBR, en el cual obtuvimos mejoras en valores del suelo natural en comparación del suelo adicionado con Cemento y Estabilizador Z.

También se presenta como aporte todos los procedimientos a seguir para la estabilización de suelos finos empleando aditivos, que servirá como contribución para las futuras investigaciones que se deseen realizar en esta área.

#### **Discusión N° 05:**

##### **¿De acuerdo a que parámetros fueron determinados los porcentajes de adición de Cemento Portland Tipo IP y Estabilizador Z?**

Los porcentajes de adición de Cemento (4%) fueron determinados de acuerdo a manuales y normas vigentes donde señalan una dosificación patrón para estabilización de suelos con Cemento, en la presente investigación optamos tomar un porcentaje menor a lo recomendado, ya que se realizará la estabilización en combinación con el Estabilizador Z, así también se tomó en cuenta distintos antecedentes de investigaciones locales y nacionales con un suelo de características similares al nuestro.

Por otra parte para el Estabilizador Z estos porcentajes de adición (1%, 2%, 4%) fueron determinados a partir de experimentar en laboratorio, ya que a la hora de realizar los ensayos



adicionar valores mayores a un 4% de aditivo se consideró por antitécnico, debido a que se incumplía con lo especificado en la ficha técnica del aditivo, así también se hacía difícil e inadecuado el manejo del material a la hora de realizar los ensayos presentes en esta investigación, por lo que se vio por conveniente dosificar de mejor manera los porcentajes para obtener resultados más precisos y que puedan servir como aporte para futuros estudios.

### Glosario

- **Capacidad portante:** La máxima presión de contacto promedio entre la capa inferior y el suelo que puede dar lugar a posibles fallos debidos a corte o hundimiento excesivo.
- **Subrasante:** La parte de la estructura portante del suelo, cuya función es soportar cargas externas del mundo exterior.
- **Compactación:** Se conoce como proceso de carga de ciertos materiales para aumentar la cohesión de las partículas y así evitar la formación de burbujas de aire.
- **Estabilización de suelos:** Se refiere al mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo a través de procedimientos mecánicos, físicos y/o químicos.
- **Suelo y material:** Los términos que se utilizan en las normas y manuales para referirse a la muestra que se utiliza.
- **Suelo Natural:** Adjetivo para definir el suelo propio del terreno que conserva sus propiedades sin alteración alguna mediante aditivos etc.
- **Aditivo:** Son los componentes que contienen ingredientes orgánicos o inorgánicos destinados a cambiar las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo.
- **ASTM:** (American Society for Testing and Materials), “Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
- **NTP:** Norma Técnica Peruana.
- **AASHTO:** (American Association of State Highway and Transportation Officials) es una organización que desarrolla estándares, publica códigos y prueba protocolos y pautas que se utilizan en el diseño y construcción de carreteras en los Estados Unidos.
- **SUCS:** Un sistema de clasificación de suelos unificado, empleado en ingeniería y geología, con el propósito de caracterizar la textura y el tamaño de las partículas del suelo.
- **CBR:** El índice CBR (California Bearing Ratio) es la relación de la presión expresada como porcentaje de la presión requerida para penetrar el suelo compactado en un molde cilíndrico de acero a una velocidad de 1,27mm/min para que un pistón de 50 mm de diámetro provoque



la deflexión. a 12,7 mm (1/2 pulg.) y se requiere para producir lo mismo en material triturado estándar, se establece en 100%.

- **Granulometría:** El proceso de selección de partículas de diferentes tamaños presentes en un material.
- **Resistencia:** Capacidad que tiene el suelo de soportar las cargas que se le apliquen sin deformarse.
- **Energía modificada:** Es la energía de compresión realizada en el ensayo de Proctor Modificado.
- **Volumen:** El volumen es una magnitud escalar que se define como el espacio que ocupa un objeto.
- **Mejoramiento:** Realizar obras y actividades de construcción para asegurar mejores condiciones físicas y operativas de las carreteras.
- **Peso seco:** Peso sin contenido de humedad de un material.
- **Cohesión:** La capacidad de las partículas del suelo para conservar su cohesión y uniformidad gracias a sus fuerzas internas.
- **Tamizado:** Proceso de comparación y selección de diferentes partículas de un material según el tamaño de cada muestra.
- **Densidad:** Relación entre el volumen y masa, la masa por cada unidad cúbica de un material.



## Conclusiones

### Conclusión N°01:

Se pudo demostrar la sub-hipótesis N°01 la cual menciona que “El Cemento Portland tipo IP y el Estabilizador Z tienen una influencia positiva en los Límites de Atterberg del suelo de subrasante y que con la adición de 4% de Cemento y Estabilizador Z al 1%, 2% y 4% podemos observar cambios en el índice de plasticidad, dichos cambios están entre el 7.93% y 5.26%, siendo este último porcentaje resultado de la adición de 4% de cemento y 4% de Estabilizador Z lo que indica una disminución del índice de plasticidad importante.

Este resultado muestra una disminución del 2.67% del índice de plasticidad gracias a la adición de cemento y estabilizador Z a lo que nos indica que el suelo es menos plástico siendo un resultado beneficioso para el estudio realizado.

### Conclusión N°02:

Se pudo demostrar la sub-hipótesis N°02 la cual menciona que “El Cemento Portland tipo IP y el Estabilizador Z tienen una influencia positiva en la densidad máxima seca del suelo de subrasante y que con la adición de 4% de cemento y estabilizador Z al 1%, 2% y 4% podemos observar cambios en el contenido óptimo de humedad los cuales varían entre 15.90% y 14%, también se puede observar una disminución en la densidad máxima seca las cuales varían entre 1.814 gr/cm<sup>3</sup> y 1.780 gr/cm<sup>3</sup>, siendo estos últimos porcentajes del resultados de la adición de 4% de cemento y 4% de estabilizador Z, lo que indica una disminución de ambos parámetros.

Este resultado muestra una disminución de 0.034 gr/cm<sup>3</sup> en la densidad máxima seca y una disminución del 1.90% en el contenido de humedad lo cual nos indica que el suelo necesita menor cantidad de agua para su compactación lo cual es beneficioso para nuestro estudio realizado.

### Conclusión N°03:

Se pudo demostrar la sub-hipótesis N°03 la cual menciona que “El Cemento Portland tipo IP y el Estabilizador Z tienen una influencia positiva en la Capacidad de Soporte CBR del suelo de subrasante ya que el CBR al 95% de suelo natural es de 10.07%, con la adición de 4% de cemento y estabilizador Z al 1%, 2% y 4% podemos observar cambios en el CBR al 95% de la densidad máxima seca los cuales varían entre 63.20% y 99.95%, siendo este último porcentaje el resultado de la adición de 4% de cemento y 4% de Estabilizador Z, lo que indica un aumento sustancial en comparación con los valores del suelo natural sin aditivos.



Este resultado muestra un aumento del 36.75% en comparación del suelo natural adicionado con 4 % Cemento en comparación con la estabilización con 4% de Cemento + 4% de Estabilizador Z del CBR al 95% de la densidad máxima seca, lo cual nos indica que el suelo tiene un mejor comportamiento de resistencia frente a las cargas solicitadas en la vía lo cual es beneficioso para el estudio realizado.

#### **Conclusión N°04:**

Se pudo demostrar nuestra hipótesis General, la cual menciona que “El Cemento Portland tipo IP y el Estabilizador Z tiene una influencia positiva en las propiedades físico-mecánicas del suelo de subrasante”. Los resultados de nuestra investigación han demostrado que, con la adición de Cemento y Estabilizador Z, las propiedades físico- mecánicas de nuestro suelo presenta variaciones en función a los porcentajes usados para su análisis. Comprobando que con la adición del Cemento en un 4% y Estabilizador Z en un 4%, se obtuvo mejores resultados en el suelo a diferencia de la adición de cemento al 4% y estabilizador Z al 1% y 2%; por lo tanto, para la estabilización del suelo limo-arcilloso proveniente de la Prolongación José Carlos Mariátegui – Alto Qosqo para subrasante es mejor emplear el Cemento en una proporción de 4% y el Estabilizador Z en porcentajes menores o iguales al 4%.



## Recomendaciones

### **Recomendación N°01:**

De la presente investigación, recomendamos no emplear la adición del 1% del Estabilizador Z en los ensayos realizados ya que no se obtuvieron resultados influyentes para el tipo de suelo evaluado, en comparación con la adición de 4% de cemento y otros porcentajes mayores de adición (2% y 4%) del Estabilizador Z.

### **Recomendación N°02:**

Se recomienda, para alcanzar valores de 100% CBR, se utilice la adición en una proporción de 4% Cemento Portland y 4% de Estabilizador Z. Debido a que en la presente investigación con 4% Cemento + 2% de adición de Estabilizador Z se alcanzó un CBR de 63.20% y con 4% de Cemento + 4% de Estabilizador Z se alcanzó un valor de 99.95%.

### **Recomendación N°03:**

Para investigaciones futuras donde se realice el estudio de las propiedades físico-mecánicas del suelo para subrasante, se recomienda hacer el estudio usando solamente Estabilizador Z y Cemento Portland por separado para observar cómo influyen estos aditivos en un suelo determinado.

### **Recomendación N°04:**

Se recomienda la investigación con el uso de Estabilizador Z en un suelo con distintas características al del presente estudio y variar los porcentajes de acuerdo a la ficha técnica la cual nos indica una dosificación de 1 + 4 partes de agua que se utiliza en función al contenido de humedad óptimo del suelo, para tener mayor información de cómo se comporta este aditivo en otro tipo de suelo.



## Referencias

- Condori, V., & Huamaní, Z. (2018). *Aplicación del estabilizador z con polímero en el incremento del valor del Cbr del material utilizado como afirmado en la carretera departamental ap-103, tramo puente ullpuhuaycco – karkatera (l= 14.050 kms)*. Abancay-Apurímac: Universidad Tecnológica de los Andes.
- Bowles, J. E. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. México.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1998). *Mecánica de suelos. Tomo 01 Fundamentos de la mecánica de suelos*. México: Editorial Limusa, S.A. de C.V.
- Flores, V., & Tito, R. (2021). *Mejoramiento de la subrasante agregando estabilizador z del centro poblado señor de los milagros, Miraflores*. Arequipa: Universidad César Vallejo.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2006). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGRAW-HILL Interamericana Editores, S.A. de C. V.
- Sampieri, R. H. (1998). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.
- García, R. (2019). *Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín*. Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Hernández, R. (2006). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- AASHTO. (1998). *Diseño de Pavimentos Rígidos. Guide of Paviment Structures Part II - Rigid Pavement Desing & Rigid Paviment*. Ilinons.
- Ayala, A., & Génesis, G. (2017) *Estabilización y control de suelos expansivos utilizando polímeros*. Ecuador: Universidad Espíritu Santo Ecuador.
- Braja M Das. (1983). *Fundamentos de la Ingeniería de Cimentaciones*. Cengage Learning.
- Gamica Anguas, P. (2002). *Mecánica de Materiales para Pavimentos*. Sanfadila, Qro: Instituto Mexicano del Transporte.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras. Suelos, "Geología, Geotecnia y Pavimentos" Sección: Suelos y Pavimentos*. Lima.



- Salas, D. (2017). *Estabilización de suelos con adición de cemento y aditivo terrasil para el mejoramiento de la base del km 11+000 al km 9+000 de la carretera puno – tiquillaca – mañazo*. Puno Perú: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición ed.). México D.F.: McGraw-Hill Interamericana editores, S.A. de C.V.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras: suelos geología, geotecnia y pavimentos. sección suelos y pavimentos*. Lima Perú: R.D. N° 10-2014-MTC/14.
- Golfin, B., & Kenneth A. (2019). *Mejoramiento del desempeño en la estabilización de suelos de subrasantes con cemento hidráulico en vías no pavimentadas*. Costa Rica: Universidad Tecnológica de Costa Rica.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC. (2018). *Red Vial Existente y Proyectada del Sistema Nacional de Carreteras por jerarquía, según Departamento: 2018*. Retrieved from *Informes y publicaciones/Transportes. Infraestructura Vial*: <https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/transportes.html>.
- Sánchez, H., & Reyes, C. (2017). *Metodología y diseños de la investigación científica*. Lima Perú: Buseness Support Aneth S.R.L.
- Neville, A. & Brooks, J. (2010) *Tecnología del Concreto*. 2nd Edition, Pearson Education Ltd., London.



## Anexos

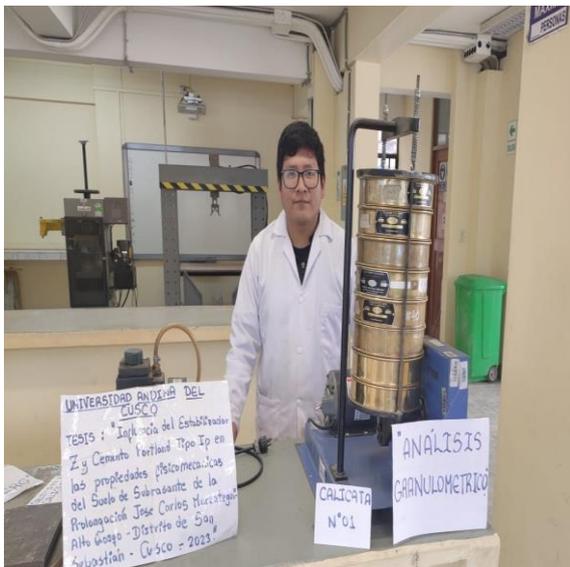
### Anexo 1. Panel Fotográfico

#### 1.1.Extracción de calicatas – Recolección de material.



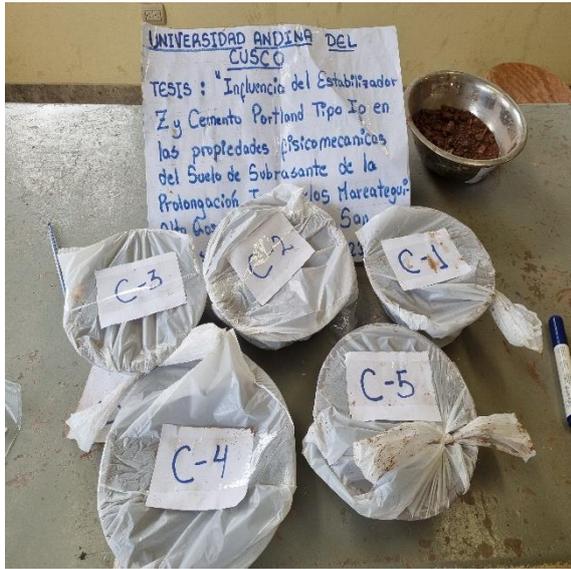


## 1.2. Análisis Granulométrico por tamizado



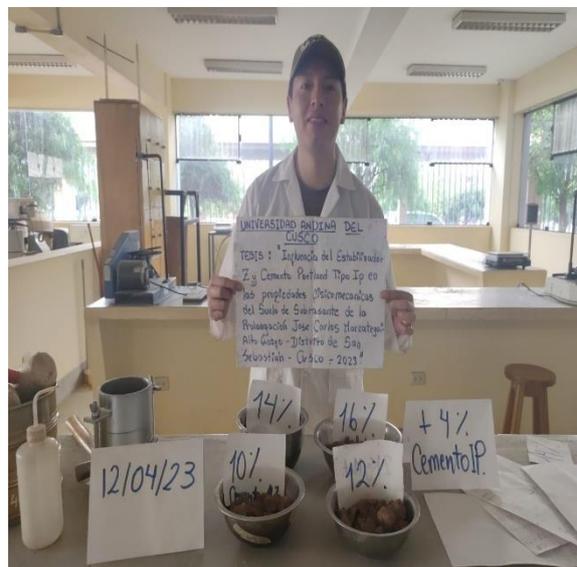
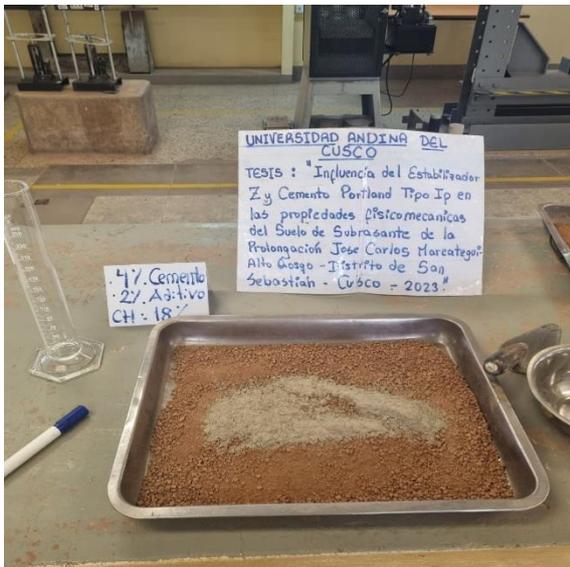


### 1.3. Límites de Consistencia.



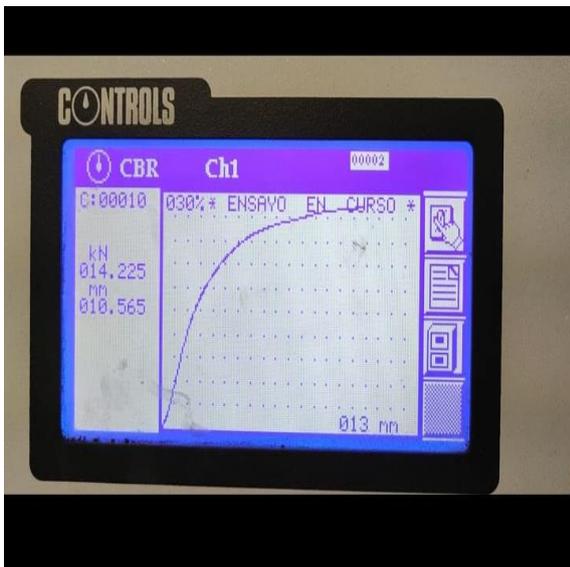


### 1.4. Proctor Modificado.





### 1.5. Capacidad de Soporte CBR.





## Anexo 2. Matriz de Consistencia

| Influencia del Estabilizador Z y el Cemento Portland tipo IP en las propiedades fisicomecánicas del suelo de subrasante de la Prolongación Jose Carlos Mariategui - Sector Alto Qosqo - Distrito de San Sebastián-Cusco-2022. |   |  |   |   |  |
|---|---|--|---|---|--|
| PROBLEMA  | OBJETIVO  | HIPOTESIS  | VARIABLE  | INDICADORES                                 | METODOLOGIA  |
| PROBLEMA GENERAL  | OBJETIVO GENERAL  | HIPOTESIS GENERAL  | DEPENDIENTE/INDEPENDIENTE                               |   |  |
| ¿En que medida influye el Estabilizador Z y el cemento portland tipo IP en las propiedades físico mecánicas del suelo de la subrasante de la Prolongación Jose Carlos Mariategui, del distrito de San Sebastian-Cusco-2022?   | Evaluar la influencia del Estabilizador Z y el cemento portland tipo IP en las propiedades físico mecánicas del suelo de la subrasante de la Prolongación Jose Carlos Mariategui, del distrito de San Sebastian-Cusco-2022. | El Estabilizador Z y el cemento portland tipo IP influye significativamente en las propiedades fisicomecánicas del suelo de subrasante de la Prolongación Jose Carlos Mariategui, del distrito de San Sebastian-Cusco-2022.  | VI: Estabilizador Z y Cemento Portland tipo IP.         | Adicion de 1%, 2% y 4% del Estabilizador Z. | <b>Método de Investigación:</b><br>Hipotético deductivo, con enfoque cuantitativo.<br><br><b>Tipo de Investigación:</b><br>Por su fuente de datos, es una investigación de gabinete (laboratorio y campo).   |
|   |   |  |   | Adicion de 4% del Cemento Portland tipo IP. |  |
|   |   |  | VD: Las magnitudes de las propiedades físico mecánicas. | Comportamiento Físico Mecánico.             |  |
| PROBLEMAS ESPECÍFICOS   | OBJETIVOS ESPECIFICOS   | SUB HIPOTESIS  | DEPENDIENTE/INDEPENDIENTE                               | INDICADORES                                 |  |
| ¿En que medida influye el Estabilizador Z y el cemento portland tipo IP en los Limites de Atterberg del suelo de subrasante de la Prolongación Jose Carlos Mariategui, del distrito de San Sebastian-Cusco-2022?              | Determinar la influencia del Estabilizador Z y el cemento portland tipo IP en los Limites de Atterberg del suelo de la subrasante de la Prolongación Jose Carlos Mariategui, del distrito de San Sebastian-Cusco-2022.      | El Estabilizador Z y el Cemento Portland tipo IP influye significativamente en los Limites de Atterberg del suelo de la subrasante de la Prolongación Jose Carlos Mariategui, del distrito de San Sebastian-Cusco-2022.      | VI: Estabilizador Z y Cemento Portland tipo IP.         | Adicion de 1%, 2% y 4% del Estabilizador Z. | <b>Alcance de la Investigación:</b><br>Explicativo<br><br><b>Diseño de Investigación:</b><br>Es una investigación experimental<br><br><b>Población y Muestra:</b><br>Suelo proveniente de la Prolongación Jose Carlos Mariategui - distrito de San Sebastián-Cusco-2022. |
|   |   |  |   | Adicion de 4% del Cemento Portland tipo IP. |  |
| VD: Limites de Atterberg.   | Limite Líquido  |  |   |   |  |
|   | Limite Plástico   |  |   |   |  |
| ¿En que medida influye el Estabilizador Z y el Cemento Portland tipo IP en el Grado de Compactación del suelo de subrasante de la Prolongación Jose Carlos Mariategui, del distrito de San Sebastian-Cusco-2022?              | Determinar la influencia del Estabilizador Z y el cemento portland tipo IP en el Grado de Compactación del suelo de la subrasante de la Prolongación Jose Carlos Mariategui, distrito de San Sebastian-Cusco-2022.          | El Estabilizador Z y el Cemento Portland tipo IP influye significativamente en el Grado de Compactación del suelo de la subrasante de la Prolongación Jose Carlos Mariategui, del distrito de San Sebastian-Cusco-2022.      | VI: Estabilizador Z y Cemento Portland tipo IP.         | Adicion de 1%, 2% y 4% del Estabilizador Z. |  |
|   |   |  |   | Adicion de 4% del Cemento Portland tipo IP. |  |
| VD: Grado de Compactación.  | Peso de suelo Húmedo.   |  |   |   |  |
|   | Densidad máxima seca.   |  |   |   |  |
|   | Contenido óptimo de humedad.  |  |   |   |  |
| ¿En que medida influye el Estabilizador Z y el Cemento Portland tipo IP en la Capacidad de Soporte (CBR) del suelo de la subrasante de la Prolongación Jose Carlos Mariategui, del distrito de San Sebastian-Cusco-2022?      | Determinar la influencia del Estabilizador Z y el cemento portland tipo IP en la Capacidad de Soporte (CBR) del suelo de la subrasante de la Prolongación Jose Carlos Mariategui, distrito de San Sebastian-Cusco-2022.     | El Estabilizador Z y el Cemento Portland tipo IP influye significativamente en la Capacidad de Soporte (CBR) del suelo de la subrasante de la Prolongación Jose Carlos Mariategui, del distrito de San Sebastian-Cusco-2022. | VI: Estabilizador Z y Cemento Portland tipo IP.         | Adicion de 1%, 2% y 4% del Estabilizador Z. |  |
|   |   |  |   | Adicion de 4% del Cemento Portland tipo IP. |  |
| VD: Capacidad de Soporte (CBR).   | Contenido de humedad.   |  |   |   |  |
|   | Densidad máxima seca.   |  |   |   |  |
|   | Carga unitaria de ensayo.   |  |   |   |  |
|   | Carga unitaria patron.  |  |   |   |  |

*Fuente: Elaboración Propia.*



### Anexo 3. Análisis de costos unitarios con adición de Cemento (4%) y Estabilizador Z (1%, 2% y 4%).

Partida: 1.2 ESTABILIZACION DE SUELO + 4% CEMENTO Rendimiento:800 m<sup>2</sup>/Día

| Costo unitario por m <sup>2</sup> |             |                                    |                |          |          |          | 14.97        |
|-----------------------------------|-------------|------------------------------------|----------------|----------|----------|----------|--------------|
| Código                            | Cod. Elect. | Descripción                        | Unid.          | Recursos | Cantidad | Precio   | Parcial      |
| <b>MANO DE OBRA</b>               |             |                                    |                |          |          |          | <b>0.60</b>  |
| 470020002                         |             | OPERARIO                           | hh             | 1.0000   | 0.0100   | 25.7600  | 0.26         |
| 470020001                         |             | PEON                               | hh             | 2.0000   | 0.0200   | 17.0400  | 0.34         |
| <b>MATERIALES</b>                 |             |                                    |                |          |          |          | <b>10.89</b> |
| 390020010                         |             | AGUA                               | m <sup>3</sup> | -        | 0.0692   | 3.2800   | 0.23         |
| 210010001                         |             | CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)  | bol            | -        | 0.4100   | 26.0000  | 10.66        |
| <b>EQUIPO</b>                     |             |                                    |                |          |          |          | <b>3.48</b>  |
| 370010001                         |             | HERRAMIENTAS MANUALES              | %mo            | -        | 5.0000   | 0.6000   | 0.03         |
| 490020006                         |             | CARGADOR c/LLANTAS 125 HP 2.5 YD3. | hm             | 1.0000   | 0.0100   | 220.0000 | 2.20         |
| 490010391                         |             | MOTONIVELADORA 125 HP              | hm             | 0.5000   | 0.0050   | 250.0000 | 1.25         |

Partida: 1.4 ESTABILIZACION DE SUELO + 4% CEMENTO + 1% ADITIVO Rendimiento:800 m<sup>2</sup>/Día

| Costo unitario por m <sup>2</sup> |             |                                    |                |          |          |          | 23.32        |
|-----------------------------------|-------------|------------------------------------|----------------|----------|----------|----------|--------------|
| Código                            | Cod. Elect. | Descripción                        | Unid.          | Recursos | Cantidad | Precio   | Parcial      |
| <b>MANO DE OBRA</b>               |             |                                    |                |          |          |          | <b>0.60</b>  |
| 470020002                         |             | OPERARIO                           | hh             | 1.0000   | 0.0100   | 25.7600  | 0.26         |
| 470020001                         |             | PEON                               | hh             | 2.0000   | 0.0200   | 17.0400  | 0.34         |
| <b>MATERIALES</b>                 |             |                                    |                |          |          |          | <b>19.24</b> |
| 390020010                         |             | AGUA                               | m <sup>3</sup> | -        | 0.0628   | 3.2800   | 0.21         |
| 210010001                         |             | CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)  | bol            | -        | 0.4090   | 26.0000  | 10.63        |
| 300010003                         |             | ESTABILIZADOR Z                    | gln            | -        | 0.1680   | 50.0000  | 8.40         |
| <b>EQUIPO</b>                     |             |                                    |                |          |          |          | <b>3.48</b>  |
| 370010001                         |             | HERRAMIENTAS MANUALES              | %mo            | -        | 5.0000   | 0.6000   | 0.03         |
| 490020006                         |             | CARGADOR c/LLANTAS 125 HP 2.5 YD3. | hm             | 1.0000   | 0.0100   | 220.0000 | 2.20         |
| 490010391                         |             | MOTONIVELADORA 125 HP              | hm             | 0.5000   | 0.0050   | 250.0000 | 1.25         |

Partida: 1.6 ESTABILIZACION DE SUELO + 4% CEMENTO + 2% ADITIVO Rendimiento:800 m<sup>2</sup>/Día

| Costo unitario por m <sup>2</sup> |             |                                    |                |          |          |          | 31.56        |
|-----------------------------------|-------------|------------------------------------|----------------|----------|----------|----------|--------------|
| Código                            | Cod. Elect. | Descripción                        | Unid.          | Recursos | Cantidad | Precio   | Parcial      |
| <b>MANO DE OBRA</b>               |             |                                    |                |          |          |          | <b>0.60</b>  |
| 470020002                         |             | OPERARIO                           | hh             | 1.0000   | 0.0100   | 25.7600  | 0.26         |
| 470020001                         |             | PEON                               | hh             | 2.0000   | 0.0200   | 17.0400  | 0.34         |
| <b>MATERIALES</b>                 |             |                                    |                |          |          |          | <b>27.48</b> |
| 390020010                         |             | AGUA                               | m <sup>3</sup> | -        | 0.0617   | 3.2800   | 0.20         |
| 210010001                         |             | CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)  | bol            | -        | 0.4090   | 26.0000  | 10.63        |
| 300010003                         |             | ESTABILIZADOR Z                    | gln            | -        | 0.3330   | 50.0000  | 16.65        |
| <b>EQUIPO</b>                     |             |                                    |                |          |          |          | <b>3.48</b>  |
| 370010001                         |             | HERRAMIENTAS MANUALES              | %mo            | -        | 5.0000   | 0.6000   | 0.03         |
| 490020006                         |             | CARGADOR c/LLANTAS 125 HP 2.5 YD3. | hm             | 1.0000   | 0.0100   | 220.0000 | 2.20         |
| 490010391                         |             | MOTONIVELADORA 125 HP              | hm             | 0.5000   | 0.0050   | 250.0000 | 1.25         |



Partida: 1.8 ESTABILIZACION DE SUELO + 4% CEMENTO + 4% ADITIVO

Rendimiento: 800 m<sup>2</sup>/Día

Costo unitario por m<sup>2</sup> **46.32**

| Código              | Cod. Elect. | Descripción                        | Unid.          | Recursos | Cantidad | Precio   | Parcial      |
|---------------------|-------------|------------------------------------|----------------|----------|----------|----------|--------------|
| <b>MANO DE OBRA</b> |             |                                    |                |          |          |          | <b>0.60</b>  |
| 470020002           |             | OPERARIO                           | hh             | 1.0000   | 0.0100   | 25.7600  | 0.26         |
| 470020001           |             | PEON                               | hh             | 2.0000   | 0.0200   | 17.0400  | 0.34         |
| <b>MATERIALES</b>   |             |                                    |                |          |          |          | <b>42.24</b> |
| 390020010           |             | AGUA                               | m <sup>3</sup> | -        | 0.0574   | 3.2800   | 0.19         |
| 210010001           |             | CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)  | bol            | -        | 0.4020   | 26.0000  | 10.45        |
| 300010003           |             | ESTABILIZADOR Z                    | gln            | -        | 0.6320   | 50.0000  | 31.60        |
| <b>EQUIPO</b>       |             |                                    |                |          |          |          | <b>3.48</b>  |
| 370010001           |             | HERRAMIENTAS MANUALES              | %mo            | -        | 5.0000   | 0.6000   | 0.03         |
| 490020006           |             | CARGADOR c/LLANTAS 125 HP 2.5 YD3. | hm             | 1.0000   | 0.0100   | 220.0000 | 2.20         |
| 490010391           |             | MOTONIVELADORA 125 HP              | hm             | 0.5000   | 0.0050   | 250.0000 | 1.25         |

*Fuente: Elaboración Propia.*



Anexo 4. Certificados de calidad del Estabilizador Z.



**ZADITIVOS®**  
EL MEJOR AMIGO DEL CONCRETO

### CERTIFICADO DE CALIDAD

|                             |                               |                           |            |                  |        |
|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------|------------------|--------|
| PRODUCTO                    | ESTABILIZADOR Z CON POLIMEROS | FECHA EMISION CERTIFICADO | 05/09/2022 | N° LOTE          | Set-22 |
| UNIDAD MEDIDA               | 1 GAL, 5 GAL, 55 GAL          | TIEMPO ALMACENAJE MAXIMO  | 1 AÑO      | FECHA PRODUCCION | Set-22 |
| Norma tecnica de referencia |                               |                           |            |                  |        |

### ESPECIFICACIONES

| ITEM | CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO | UNIDAD       | RESULTADOS                                | REQUISITOS          |                 |
|------|------------------------------|--------------|---|---------------------|-----------------|
|      |                              |              |   | Rango de Aceptacion | Normas tecnicas |
| 1    | ASPECTO                      | no aplicable | LIQUIDO                                   | -                   | LAB. Z ADITIVOS |
| 2    | COLOR                        | no aplicable | BLANCO                                    | -                   | LAB. Z ADITIVOS |
| 3    | ADITIVO                      | no aplicable | ESTABILIZANTE QUIMICO A BASE DE POLIMEROS | -                   | LAB. Z ADITIVOS |
| 4    | SOLIDOS                      | %            | 50.77                                     | 50-53               | LAB. Z ADITIVOS |
| 5    | PH                           | -            | 6.8                                       | 6-7                 | LAB. Z ADITIVOS |
| 6    | VISCOSIDAD                   | CPS          | 23850                                     | 15000-25000         | LAB. Z ADITIVOS |
| 7    | SOLUBILIDAD EN AGUA          | -            | COMPLETAMENTE MEZCLABLE                   | -                   | LAB. Z ADITIVOS |
| 8    | DENSIDAD                     | kg/L         | 1.03                                      | +/-0.01             | LAB. Z ADITIVOS |

Este certificado muestra las características promedio típicas del lote indicado, confirmando que este producto cumple con lo especificado por las normas que se han tomado como referencia.

Los procesos de Operación de Z ADITIVOS SA estan Certificados con ISO 9001:2015.

  
**ZADITIVOS**  
 ING. KARLA SANCHEZ BERNA  
 Area de Control de Calidad

Cooperativa Las Vertientes MZ. G It. 1. Altura Av. El Sol - Villa El Salvador - Cel. +51 994 278 780 - www.zaditivos.com.pe - ventas@zaditivos.com.pe



## HOJA DE SEGURIDAD

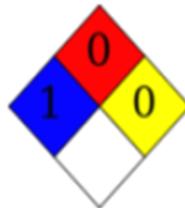
Versión 19 – Junio 2019  
www.zaditivos.com.pe

### 1.- IDENTIFICACIÓN DE LA COMPAÑÍA

Compañía : SAINT GOBAIN PRODUCTOS PARA LA CONSTRUCCION S.A.C.  
Dirección : Cooperativa Las Vertientes MZ. G lt. 1. Altura Av. El Sol - Villa El Salvador  
Nombre del Producto : ESTABILIZADOR Z CON POLIMEROS

### 2.- IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Identificación de Riesgos de Materiales según NFPA



SALUD: 1

INFLAMABILIDAD: 0

REACTIVIDAD: 0

### 3.- COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL PRODUCTO

Resina Alemana a base de polímeros  
Mono componente

### 4.- PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto : Líquido  
Color : Blanco  
Olor : Agradable  
Solubilidad en agua : Soluble en agua.  
Punto de Inflamación : No Inflamable

### 5.- IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

**Medio Ambiente**  
Este producto **no es peligroso para la salud ni el medio ambiente.**

**Sobre Toxicidad**  
**No es tóxico, ni dañino.**



#### **6.- MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS**

|                       |   |                                 |
|-----------------------|---|---------------------------------|
| Contacto con la Piel  | : | Lavar con agua corriente.       |
| Contacto con los Ojos | : | Lavar con abundante agua.       |
| Ingestión             | : | Provocar Vómitos.               |
| Tratamiento           | : | Se basara a criterio del medico |

#### **7.- ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

Estabilidad Química, mientras no se mezclen.

#### **8.- MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

##### Manipulación:

- Al momento de utilizar el producto usar guantes y mascarilla bucal **Por Precaución.**
- Mantener alejado de fuentes de ignición.
- No tener contacto con alimentos.

##### Almacenamiento:

Almacenar bajo techo.

##### Duración del Producto:

01 Año

#### **9.- VERTIDO ACCIDENTAL**

- Protección al medio ambiente
- No es Contaminante, No Tóxico.

#### **10.- INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA**

- En pequeñas Dosis NO CAUSA lesión
- En ingestión de dosis mayores CAUSA lesión

#### **11.- METODOS DE LIMPIEZA**

Recolectar el producto y regresarlo a su envase original para su posterior disposición. Evitar la acumulación de desperdicios. Cumplir con las recomendaciones y disposiciones legales para el manejo de residuos.

#### **12.- PROTECCIÓN PERSONAL**

Medidas generales de protección e higiene: se deben de observar las medidas de seguridad para el manejo de productos químicos.  
Protección respiratoria: usar mascarillas para gases.  
Protección de manos: usar guantes protectores.  
Protección de los ojos: usar gafas de protección.



### 13.- CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACION

Recomendaciones: pequeñas cantidades pueden ser desechadas con la basura doméstica.  
Embalajes sin limpiar: eliminar conforme a las disposiciones oficiales.  
Productos de limpieza recomendado: agua, eventualmente añadiendo productos de limpieza.

### 14.- INFORMACION RELATIVA AL TRANSPORTE

No esta clasificado como peligroso en el transporte.

### 15.- MANEJO DEL PRODUCTO EN CASO DE INCENDIO

Medida de Lucha contra incendio.  
Medio de Extinción adecuado.  
**Polvo Químico Seco.**

**Riesgos Especiales**  
No requiera ninguno.

### 16.- OTRAS INFORMACIONES

No hay información adicional

Toda la información contenida aquí dentro es veraz y confiable al momento de ser expedida El usuario deberá asumir todos los riesgos y será el único responsable de los resultados obtenidos del almacenamiento, manipuleo o uso del producto así como de la información o recomendaciones referentes al mismo, sea solo o en combinación con otras sustancias.

**Z. Aditivos S.A.**, no acepta en ningún caso, responsabilidad alguna por los resultados obtenidos, ni por los daños y perjuicios directos e indirectos, así como por las consecuencias resultantes del uso de los mismos. Por tales razones, los compradores y consumidores, asumen toda la responsabilidad y todas las obligaciones por pérdidas y daños derivados del manejo y uso de nuestros productos sin excepción alguna.