



UNIVERSIDAD
SAN IGNACIO
DE LOYOLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

**CARACTERIZACIÓN DE LA DURABILIDAD Y
RESISTENCIA DEL SUELO - CEMENTO PARA EL
TRAMO DEL KM 4.89 AL KM 8.89 DE LA
CARRETERA MAZAMARI - LLAYLLA, DEL DISTRITO
DE MAZAMARI - PROVINCIA SATIPO -
DEPARTAMENTO JUNÍN**

**Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil**

**KEVIN LUIS REYES ASTO
(0000-0003-4230-8567)**

Asesor:

**Mg. Ing. Luis Fernando Raygada Rojas
(0000-0002-5471-643X)**

**Lima – Perú
2023**

tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	3 %
2	es.scribd.com Fuente de Internet	3 %
3	qdoc.tips Fuente de Internet	2 %

Excluir citas Apagado
Excluir bibliografía Apagado

Excluir coincidencias < 2%

JURADO DE LA SUSTENTACIÓN ORAL

.....
Presidente

.....
Jurado 1

.....
Jurado 2

Entregado el: 03 / 03 / 2022

Aprobado por:

.....
(Kevin Luis, Reyes Asto)
ORCID ID: 0000-0003-4230-8567

.....
(Fernando Luis, Raygada Rojas)
ORCID ID: 0000-0002-5471-643X

Graduando

Asesor de Tesis

UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Kevin Luis, Reyes Asto identificado con el DNI N°76523844, Bachiller del Programa Académico de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Ignacio de Loyola, presento mi tesis titulada:

“Caracterización de la Durabilidad y Resistencia del Suelo – Cemento para el Tramo del km 4.89 al km 8.89 de la Carretera Mazamari – Llaylla, del Distrito de Mazamari – Provincia Satipo – Departamento Junín”.

Declaro en honor a la verdad, que el trabajo de tesis es de mi autoría; que los datos, los resultados y su análisis e interpretación, constituyen mi aporte. Todas las referencias han sido debidamente consultadas y reconocidas en la investigación.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad u ocultamiento de la información aportada. Por todas las afirmaciones ratifico lo expresado, a través de mi firma correspondiente.

Lima, Marzo de 2022

.....
Kevin Luis Reyes Asto

DNI: 76523844

*No basta tener un buen ingenio, lo principal
es aplicarlo bien.*

René Descartes (1596-1650)

Índice General

Dedicatoria.....	XIV
Agradecimiento.....	XV
Resumen.....	XVI
Abstract.....	XVII
CAPITULO I: Introducción.....	XVIII
CAPITULO II: Planteamiento del Problema.....	1
2.1 Situación Problemática.....	1
2.2 Formulación del Problema.....	6
2.2.1 Formulación General del problema.....	6
2.2.2 Formulación Específico del problema.....	6
2.3 Justificación de la Investigación.....	7
2.4 Objetivos de la Investigación.....	9
2.4.1 Objetivo General.....	9
2.4.2 Objetivos Específicos.....	9
CAPITULO III: Marco Teórico.....	11
3.1 Antecedentes del Problema.....	11
3.1.1 Antecedentes Internacionales.....	11
3.1.2 Antecedentes Nacionales.....	13
3.2 Bases Teóricas.....	15
3.2.1 El Cemento Portland.....	15
3.2.2 Propiedades del cemento hidráulico.....	16
3.2.3 Tipos de Cemento Portland.....	17
3.2.4 Estabilización Suelo-Cemento.....	17
3.2.5 Dosificación del Cemento.....	19
3.2.6 Suelos.....	19
3.2.7 Tipos de Suelos.....	20
3.3 Marco Conceptual.....	21
3.3.1 Curva de distribución granulométrica.....	21
3.3.2 Tamaño Efectivo, Coeficiente de Uniformidad y Coeficiente de Curvatura.....	22

3.3.3 Límite líquido (LL).....	23
3.3.4 Clasificación del suelo.....	24
3.3.5 Compactación de Suelos.....	25
3.3.6 Ensayo de CBR.....	27
3.3.7 CBR-MTC E 132.....	28
3.3.8 Subrasante.....	31
3.3.9 Pavimento	33
3.3.10 Exploración de suelos	33
3.3.11 Resistencia a la compresión no confinada	35
3.3.12 Preparación y Curado en el Laboratorio de Probetas Suelo-Cemento	36
3.3.13 Relaciones de Humedad-Densidad (Suelo-Cemento)	37
3.3.14 Resistencia a la Compresión de Probetas Suelo-Cemento (MTC E 1103)	38
3.3.15 Humedecimiento y Secado de Mezclas de Suelo - Cemento Compactadas	39
CAPITULO IV: Hipótesis y Variables	41
4.1 Hipótesis General.	41
4.2 Hipótesis Específicas.	41
4.3 Identificación de Variable.....	41
4.4 Operacionalización de Variables.	42
4.5 Matriz de Consistencia.	42
CAPITULO V: Metodología	44
5.1 Tipo de Investigación.	44
5.2 Nivel de Investigación.....	44
5.3 Diseño de Investigación	44
5.4 Descripción del Ámbito de la Investigación	45
5.5 Unidad de Análisis.....	47
5.6 Población de estudio.	47
5.7 Tamaño de Muestra.	48
5.8 Selección de Muestra.	49
5.9 Técnicas de Recolección de Datos.	49
5.10 Análisis e interpretación de la información	52
CAPITULO VI: Procedimiento y Método de Análisis	54

6.1 Ubicación Geográfica.....	54
6.2 Trazo y Replanteo	59
6.3 Excavación Manual de Calicatas.....	59
6.4 Trabajo en Laboratorio.....	59
6.4.1 Clasificación de Suelos.....	59
6.4.2 Ensayo Proctor modificado en Laboratorio.....	61
6.4.2.1 Ensayo Proctor modificado calicata N°01	63
6.4.2.2 Ensayo Proctor modificado calicata N°02.....	63
6.4.2.3 Ensayo Proctor modificado calicata N°03.....	63
6.4.2.4 Ensayo Proctor modificado calicata N°04.....	63
6.4.2.5 Ensayo Proctor modificado calicata N°05.....	63
6.4.3 Ensayo CBR en Laboratorio.....	63
6.4.3.1 Ensayo CBR Calicata N°01	66
6.4.3.2 Ensayo CBR Calicata N.º 02.....	66
6.4.3.3 Ensayo CBR Calicata N°03.....	66
6.4.3.4 Ensayo CBR Calicata N°04.....	66
6.4.3.5 Ensayo CBR Calicata N° 05.....	66
6.4.4 Desarrollo Ensayo Compresión no Confinada	66
6.4.5 Resistencia de Probetas Suelo –Cemento.....	67
6.4.6 Humedecimiento y Secado de Mezclas Suelo Cemento Compactadas 70	
6.5 Método de Análisis.....	71
6.5.1 Análisis de la Clasificación de Suelos	71
6.5.2 Análisis del Ensayo Proctor modificado	74
6.5.3 Análisis del ensayo CBR en suelo natural.....	77
6.5.4 Análisis Ensayo Compresión no Confinada (Suelo inalterado)	81
6.5.5 Análisis Ensayo Compresión Simple Suelo con Cemento	81
6.5.6 Análisis Ensayo Humedecimiento y Secado	82
CAPITULO VII: Resultados y Discusión.....	85
7.1 Resultados	85
7.1.1 Resultados del Análisis de la Clasificación de Suelos	85
7.1.2 Resultados del Análisis del Ensayo Proctor modificado	86
7.1.3 Resultados del Análisis del Ensayo CBR para Suelo Natural	90
7.1.4 Resultados del Análisis del Ensayo Compresión no Confinada.....	96

7.1.5 Resultados del Análisis del Ensayo Compresión Simple para Suelo Cemento	96
7.1.6 Resultados del Análisis del Ensayo Humedecimiento y Secado	97
7.2 Consolidación de Resultados	99
7.3 Discusión	101
CAPITULO VIII: Conclusiones y Recomendaciones	103
8.1 Conclusiones	103
8.2 Recomendaciones	106
Referencias	107
Anexos	110

Índice de Tablas

Tabla 1.	16
<i>Composición Química del Cemento</i>	16
Tabla 2.	17
<i>Tipos de cemento Portland y sus Aplicaciones</i>	17
Tabla 3.	18
<i>Perdida en Testigos de compresión</i>	18
Tabla 4.	19
<i>Clasificación y Descripción de los Suelos</i>	19
Tabla 5.	26
<i>Métodos para el Proctor Modificado</i>	26
Tabla 6.	27
<i>Características de las muestras CBR</i>	27
Tabla 7	32
<i>Categorías de Subrasante</i>	32
Tabla 8.	34
<i>Exploración de suelos</i>	34
Tabla 9.	42
<i>Operacionalización de variables</i>	42
Tabla 10.	43
<i>Matriz de consistencia</i>	43
Tabla 11.	48
<i>Ubicación en las progresivas de las calicatas</i>	48
Tabla 12.	51
<i>Trabajos en laboratorio</i>	51
Tabla 13.	54
<i>Ubicación geográfica calicata 1</i>	54
Tabla 14.	55
<i>Ubicación geográfica calicata 2</i>	55
Tabla 15.	56
<i>Ubicación geográfica calicata 3</i>	56
Tabla 16.	57
<i>Ubicación geográfica calicata 4</i>	57

Tabla 17.	58
<i>Ubicación geográfica calicata 5</i>	58
Tabla 18.	60
<i>Preparación de muestra para granulometría</i>	60
Tabla 19.	60
<i>Preparación de muestra para granulometría</i>	60
Tabla 20.	61
<i>Método de ensayo para la compactación del suelo</i>	61
Tabla 21.	62
<i>Uso del aditivo</i>	62
Tabla 22.	64
<i>Uso de las penetraciones del CBR</i>	64
Tabla 23.	65
<i>Máquina, Digital para Ensayos Marshall y CBR PS-25</i>	65
Tabla 24.	67
<i>Máquina Comprensión no confinada</i>	67
Tabla 25.	72
<i>Clasificación de suelos para la calicata N°01</i>	72
Tabla 26.	72
<i>Clasificación de suelos para la calicata N°02</i>	72
Tabla 27.	73
<i>Clasificación de suelos para la calicata N°03</i>	73
Tabla 28.	73
<i>Clasificación de suelos para la calicata N°04</i>	73
Tabla 29.	74
<i>Clasificación de suelos para la calicata N°05</i>	74
Tabla 30.	75
<i>Análisis del ensayo Proctor modificado para Calicata N°01</i>	75
Tabla 31.	75
<i>Análisis del ensayo Proctor modificado para Calicata N°02</i>	75
Tabla 32.	76
<i>Análisis del ensayo Proctor modificado para Calicata N°03</i>	76
Tabla 33.	76

<i>Análisis del ensayo Proctor modificado para Calicata N°04</i>	76
Tabla 34.	77
<i>Análisis del ensayo Proctor modificado para Calicata N°05</i>	77
Tabla 35.	78
<i>Datos de Proctor modificado para calicata N°01</i>	78
Tabla 36.	78
<i>Análisis de resultados CBR para calicata N°01</i>	78
Tabla 37.	78
<i>Datos de Proctor modificado para calicata N°02</i>	78
Tabla 38.	79
<i>Análisis de resultados CBR para calicata N°02</i>	79
Tabla 39.	79
<i>Datos de Proctor modificado para calicata N°03</i>	79
Tabla 40.	79
<i>Análisis de resultados CBR para calicata N°03</i>	79
Tabla 41.	80
<i>Datos de Proctor modificado para calicata N°04</i>	80
Tabla 42.	80
<i>Análisis de resultados CBR para calicata N°04</i>	80
Tabla 43.	80
<i>Datos de Proctor modificado para calicata N°05</i>	80
Tabla 44.	81
<i>Análisis de resultados CBR para calicata N°05</i>	81
Tabla 45.	81
<i>Análisis de ensayo compresión no confinada para calicata N°05</i>	81
Tabla 46.	82
<i>Análisis de Resultados ensayo compresión simple suelo cemento</i>	82
Tabla 47.	83
<i>Análisis de Ensayo humedecimiento y secado</i>	83
Tabla 48.	83
<i>Análisis Perdida de suelo cemento</i>	83
Tabla 49.	84
<i>Variación de volumen para el espécimen N°01 en el ensayo humedecimiento y secado</i> 84	

Tabla 50.	85
<i>Resultados de la clasificación de suelos</i>	85
Tabla 51.	91
<i>Valores de CBR para calicata 1</i>	91
Tabla 52.	92
<i>Valores de CBR para calicata 2</i>	92
Tabla 53.	93
<i>Valores de CBR para calicata 3</i>	93
Tabla 54.	94
<i>Valores de CBR para calicata 4</i>	94
Tabla 55.	95
<i>Valores de CBR para calicata 5</i>	95
Tabla 56.	116
<i>Excavación manual de las 5 calicatas</i>	116
Tabla 57.	119
<i>Clasificación de suelos en las 5 calicatas</i>	119
Tabla 58.	121
<i>Ensayo Proctor modificado calicata 1</i>	121
Tabla 59.	123
<i>Ensayo Proctor Modificado calicata 2</i>	123
Tabla 60.	125
<i>Ensayo Proctor Modificado calicata 3</i>	125
Tabla 61.	127
<i>Ensayo Proctor Modificado calicata 4</i>	127
Tabla 62.	129
<i>Ensayo Proctor modificado calicata 5</i>	129
Tabla 63.	131
<i>Preparación moldes para CBR calicata N°01</i>	131
Tabla 64.	132
<i>Penetración Moldes Calicata 1</i>	132
Tabla 65.	132
<i>Preparación moldes para CBR calicata 2</i>	132
Tabla 66.	133

<i>Preparación Moldes Calicata 2</i>	133
Tabla 67.	134
<i>Preparación Moldes Calicata 3</i>	134
Tabla 68	135
<i>Penetración Moldes Calicata 3</i>	135
Tabla 69.	135
<i>Preparación Moldes Calicata 4</i>	135
Tabla 70.	136
<i>Penetración de moldes calicata N°04.</i>	136
Tabla 71.	137
<i>Preparación moldes para CBR calicata N°05.</i>	137
Tabla 72.	138
<i>Penetración moldes calicata N°05</i>	138

Índice de figuras

Figura 1.	3
<i>Mapa del Distrito de Mazamari</i>	3
Figura2.	3
<i>Precipitaciones Pluviales</i>	3
Figura 3.	4
<i>Camino Vecinal del Distrito de Mazamari</i>	4
Figura 4.	5
<i>Ubicación de la trayectoria Carretera Mazamari-Llaylla</i>	5
Figura 5.	6
<i>Carretera no Pavimentada Mazamari- Llaylla.</i>	6
Figura 6.	21
<i>Curva de Distribución Granulométrica</i>	21
Figura 7.	23
<i>Coefficiente de Uniformidad</i>	23
Figura 8.....	23
<i>Copa de Casagrande</i>	23
Figura 9.	24
<i>Cuadro esquemático de Clasificación de Suelos</i>	24
Figura 10.	25
<i>Clasificación de Suelos</i>	25
Figura 11.	29
<i>CBR Suelos</i>	29
Figura 12.	31
<i>Grafica de CBR Suelos</i>	31
Figura 13.	32
<i>Sección Transversal Pavimento Flexible</i>	32
Figura 14.	35
<i>Ensayo de compresión no confinada</i>	35
Figura 15.	46
<i>Proceso de la investigación</i>	46
Figura 16.	47

<i>Población de estudio</i>	47
Figura 17.	48
<i>Tamaño de muestra</i>	48
Figura 18.	55
<i>Ubicación geográfica calicata 1</i>	55
Figura 19.	56
<i>Ubicación geográfica calicata 2</i>	56
Figura 20.	57
<i>Ubicación geográfica calicata 3</i>	57
Figura 21.	58
<i>Ubicación geográfica calicata 4</i>	58
Figura 22.	59
<i>Ubicación geográfica calicata 5</i>	59
Figura 23.	69
<i>Especímenes suelo cemento calicata N°05</i>	69
Figura 24.	69
<i>Ensayo compresión simple de probetas suelo cemento</i>	69
Figura 25.	71
<i>Ensayo humedecimiento y secado</i>	71
Figura 26.	86
<i>Resultados de los ensayos Proctor modificado de la calicata 1</i>	86
Figura 27.	87
<i>Resultados de los ensayos Proctor modificado de la calicata 2</i>	87
Figura 28.	88
<i>Resultados de los ensayos Proctor modificado de la calicata 3</i>	88
Figura 29.	89
<i>Resultados de los ensayos Proctor modificado de la calicata 4</i>	89
Figura 30.	90
<i>Resultados de los ensayos Proctor modificado de la calicata 5</i>	90
Figura 31.	91
<i>Resultados del ensayo CBR para calicata 1</i>	91
Figura 32.	92
<i>Resultados del ensayo CBR para calicata 2</i>	92

Figura 33	93
<i>Resultados del ensayo CBR para calicata 3</i>	93
Figura 34	94
<i>Resultados del ensayo CBR para calicata 4</i>	94
Figura 35	95
<i>Resultados del ensayo CBR para calicata 5</i>	95
Figura 36	97
<i>Resultados del ensayo compresión simple suelo cemento calicata 5</i>	97
Figura 37	98
<i>Resultados ensayo humedecimiento y secado</i>	98
Figura 38	99
<i>Cambios de volumen para el espécimen N°01 para el suelo con 3% de cemento</i>	99
Figura 39	131
<i>Saturación Moldes Calicata 1</i>	131
Figura 40	133
<i>Saturación Moldes Calicata 2</i>	133
Figura 41	134
<i>Saturación Moldes Calicata 3</i>	134
Figura 42	136
<i>Saturación moldes patrón y suelo cemento calicata N°04</i>	136
Figura 43	137
<i>Saturación moldes patrón y suelo cemento calicata N°05</i>	137

Glosario de Abreviaciones

CBR: California Bearing Ratio

MDS: Máxima Densidad Seca

OCH: Contenido de Humedad Óptima

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

LL: Límite Líquido

IP: Índice de Plasticidad

LP: Límite Plástico

INDECI: Instituto Nacional de Defensa Civil

NTP: Norma Técnica Peruana

UTM: Universal Transversal de Mercator

Cu: Coeficiente de uniformidad

Cc: Coeficiente de gradación

Mr: Módulo resiliente

G: Grava

S: Arena

M: Limo

C: Arcilla

Dedicatoria

La presente investigación fue realizada en agradecimiento a mi madre Estela, por ser parte fundamental de mi vida y mi motivación más grande. Asimismo, dedico esta investigación A mi padre José y mi hermano Franco, por su apoyo y cariño durante todo este proceso y por estar conmigo en los buenos y malos momentos.

Agradecimiento

A Dios, por su guía hasta esta etapa de mi vida, por darme la oportunidad de culminar mi etapa universitaria, ser profesional y culminar satisfactoria la presente tesis.

A mi familia, especialmente a mis padres, por su apoyo incondicional durante todo el desarrollo de mi vida y lograr mis metas, por sus consejos y ser ejemplos de sacrificio y superación.

A mi asesor de tesis, Mg. Luis Fernando, Raygada Rojas, por su guía y apoyo en el desarrollo de esta tesis.

Agradezco a la Universidad San Ignacio de Loyola – USIL, por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios en la carrera de Ingeniería Civil, también agradecer a toda la plana docente de la FI – Facultad de Ingeniería por todas las enseñanzas impartidas en las aulas de clase.

Resumen

Las precipitaciones pluviales son un problema muy grande en la selva central, generalmente, en el periodo de diciembre a marzo, en los cuales surgen huaycos y derrumbes que causan daños de gran magnitud en la infraestructura vial. La presente investigación busca realizar la “Caracterización de la Durabilidad y Resistencia del Suelo – Cemento para el Tramo del km 4.89 al km 8.89 de la Carretera Mazamari – Llaylla, del Distrito de Mazamari – Provincia Satipo – Departamento Junín”. Con la finalidad de reducir los daños tales como: deformación, erosión, baches y lodazal.

El área de estudio es de 4 km en la trayectoria del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari – Llaylla, donde se ejecutaron las excavaciones de 5 calicatas. Para la clasificación de suelos, se utilizó los sistemas AASHTO y SUCS; para encontrar el punto más crítico, se evaluó por medio del ensayo CBR; para verificar el incremento de densidades del suelo estabilizado con proporciones entre 3 % y 12 % de cemento del peso de la muestra de suelo, se utilizó el ensayo Proctor modificado. Por otra parte, para caracterizar la resistencia del suelo cemento se empleó el ensayo de compresión simple basado en la norma ASTM D 1633. Asimismo, para evaluar la durabilidad, se aplicó el ensayo de Humedecimiento y Secado de mezclas de suelo cemento compactadas en base a la norma ASTM D 559.

En conclusión, se afirma que la proporción racional más viable es el 3 % de cemento del peso de la muestra de suelo, ya que se obtuvo una resistencia de 33.10 kg/cm²; y, para la durabilidad, la pérdida de suelo cemento fue 5.80%, cumpliendo así con los parámetros, según la norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes.

Palabras clave: suelo sin adición, suelo con cemento, durabilidad, resistencia, proporción racional.

Abstract

Rainfall is a very big problem in the central jungle, generally in the period from December to March, when landslides and landslides occur, causing extensive damage to road infrastructure. The present investigation seeks to carry out the "Characterization of the Durability and Resistance of the Soil - Cement for the Section from km 4.89 to km 8.89 of the Mazamari - Llaylla Highway, of the Mazamari District - Satipo Province - Junín Department". In order to reduce damage such as: deformation, erosion, potholes and quagmire.

The study area is 4 km along the route from km 4.89 to km 8.89 of the Mazamari - Llaylla highway, where the excavations of 5 pits were carried out. For the classification of soils, the AASHTO and SUCS systems were used; to find the most critical point, it was evaluated by means of the CBR assay; to verify the increase in densities of the stabilized soil with proportions between 3% and 12% of cement by weight of the soil sample, the modified Proctor test was used. On the other hand, to characterize the resistance of the soil-cement, the simple compression test based on the ASTM D 1633 standard was used. Likewise, to evaluate the durability, the Wetting and Drying test of compacted soil-cement mixtures based on ASTM D 559 standard.

In conclusion, it is stated that the most viable rational proportion is 3% of cement by weight of the soil sample, since a resistance of 33.10 kg/cm² was obtained; and, for durability, the loss of soil-cement was 5.80%, thus complying with the parameters, according to standard CE.020 Stabilization of soils and slopes.

Keywords: soil without addition, soil with cement, durability, resistance, rational proportion.

CAPITULO I: Introducción

En la actualidad las intensas lluvias causan fuertes daños a las construcciones de infraestructura tales como: edificaciones, carreteras, puentes y túneles, donde sufren colapsos y deterioros en sus superficies debido a la baja resistencia del suelo en sus cimentaciones superficiales y profundas. Asimismo, este fenómeno natural también perjudica a la sociedad, sobre todo, a los agricultores, quienes necesitan de una carretera no pavimentada para transportar sus productos hacia el mercado y, así, generar ingresos económicos; tal es el caso de la selva central donde la temporada de lluvias se desarrolla durante los meses de diciembre a marzo.

La presente investigación presentó una metodología cuantitativa-correlacional. Fue, cuantitativa porque el parámetro de resistencia fue medido mediante el ensayo compresión simple; y el parámetro durabilidad fue medido mediante el ensayo humedecimiento y secado. Tuvo un enfoque correlacional debido a que, mediante el análisis estadístico se determinó la proporción racional entre 3 % y 12 %. Asimismo, el diseño de investigación fue experimental prospectivo y longitudinal, ya que los ensayos geotécnicos fueron desarrollados en un laboratorio de suelos.

Frente a lo mencionado, esta investigación tuvo como objetivo realizar la evaluación a la resistencia del suelo con (3 %, 6 %, 9 % y 12 %) de cemento en el punto más crítico de las 05 calicatas; análogamente, se evaluó la durabilidad del suelo con el porcentaje racional del cemento, con el ensayo de humedecimiento y secado. El área de estudio fue de 4km para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari-Llaylla en la selva central.

Finalmente, la presente investigación contiene los siguientes capítulos:

Capítulo I: Introducción

Se muestra la presentación de la investigación, así como las características y causas del tema investigación. Respondiendo a las preguntas de: ¿Cuál fue el tema de

investigación?; ¿Cuál fue la metodología utilizada en la investigación?; y ¿Cuál fue la finalidad u objetivos de la investigación?

Capítulo II: Planteamiento del Problema

Se aprecia la formulación general y específica del problema de la investigación, así como la justificación y objetivos. Se responde a las siguientes preguntas: ¿Qué se investigó? ¿Cómo se investigó? y ¿Por qué se investigó?

Capítulo III: Marco Teórico

Se describe los antecedentes nacionales e internacionales del problema de investigación, así como las bases teóricas y el marco conceptual asociados a la geotecnia y estabilizaciones de suelos.

Capítulo IV: Hipótesis y Variables

Se plantea la hipótesis general y específica de la investigación; así también, se observa la identificación y operacionalización de las variables.

Capítulo V: Metodología

Se aprecia el enfoque, tipo, nivel y diseño metodológico aplicado en la presente investigación, así como la población, tamaño y selección de la muestra.

Capítulo VI: Procedimiento y Método de Análisis

Se muestra la ubicación geográfica de las calicatas y, los trabajos en laboratorio tales como: la clasificación de suelos, el ensayo Proctor modificado, el ensayo CBR, el ensayo compresión no confinada, el ensayo compresión simple de suelo con cemento, el ensayo de humedecimiento y secado; y el desarrollo de los análisis para cada ensayo.

En el Capítulo VII: Resultados, Consolidación de Resultados y Discusión

Se observa la presentación y discusión de los resultados conseguidos del análisis de la resistencia y durabilidad del suelo - cemento.

En el Capítulo VIII – Conclusiones y Recomendaciones

Se plantea las principales conclusiones y recomendaciones obtenidas al finalizar la presente investigación.

CAPITULO II: Planteamiento del Problema

2.1 Situación Problemática.

El suelo es el material de construcción más abundante dentro de las prácticas de la ingeniería civil, se constituye como el soporte de las estructuras como edificaciones, vías, puentes, canales, torres, entre otros; además, se utiliza como material en terraplenes viales, muros de tierra reforzada con geotextil, diques, rellenos de adecuación para terrenos con pendientes variadas. Los suelos conforman los taludes de corte y de terraplenes viales y son estructuras que cumplen diversas funciones en los proyectos, además el suelo cumple la función de soporte estructural para cualquier construcción proyectada.

Ante tal importancia, surge la necesidad de estudiar los suelos desde las diferentes ópticas y necesidades dentro de las prácticas de la ingeniería civil. La estabilidad volumétrica de un suelo, donde no se admiten deformaciones altas, la estabilidad de los taludes y de las estructuras que hacen parte de la cimentación de una estructura; la saturación de los suelos y sus consecuencias en la inestabilidad de taludes, la estabilidad del suelo frente a procesos de erosión hídrica o sus cambios de volumen y resistencia cuando se deshidrata, son algunos de los comportamientos que se deben estudiar en la mecánica de suelos para dar respuesta a problemas frecuentes vinculados con los materiales térreos.(Fuente : Escobar , Gonzalo y Enrique 2016). El Perú tiene una gran variedad de suelos tanto en la selva, costa y sierra; no obstante, la inestabilidad es un problema muy común que se encuentra en las carreteras no pavimentadas.

La selva central, tiene un clima tropical y, en el distrito de Mazamari (provincia de Satipo), la mayoría de los meses del año están marcados por lluvias significativas. Según Köppen y Geiger (2018), la temperatura allí es en promedio 24.1 ° C, con precipitaciones en promedio de 1652 mm. El distrito de Mazamari se ubica a 690 m .s. n. m, y está situado en la

eco-región selva alta con un clima moderadamente húmedo y semi cálido. La temperatura máxima media mensual varía entre 32.9 °C a 34.4 °C, la mínima entre 13.1 °C y 16.3 °C, de tal manera que los procesos constructivos de las carreteras varían en función a dichas temperaturas y épocas, por lo que se requiere de un nivel técnico apropiado para su ejecución. (Fuente climatología Región -Junín ,2018).

En el mercado, existen diversas soluciones de estabilización. La primera es la estabilización con suelo de reemplazo de cantera, donde se utiliza el material ripio; la segunda es estabilizar el suelo de fundación con agentes estabilizadores tales como: cemento, cal, emulsiones asfálticas y aditivos químicos (el cemento fue el agente estabilizador que se empleó en la presente investigación). Finalmente, la tercera solución es la estabilización del terreno de fundación incorporando geotextiles tales como geomallas uniaxiales y biaxiales.

La estabilización del suelo con cemento, según la norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes, consiste en aplicar proporciones del cemento, entre 1% a 4%, para una estabilización de tipo flexible y entre 6% a 14%, para una estabilización de tipo rígida; asimismo, estas proporciones son efectivas en suelos granulares, limos y arcillas; no recomienda utilizar el suelos orgánicos ni salitrosos, sino que es preferible su uso en bases, subbases de caminos secundarios y en terrenos de fundación vial.

En las temporadas de lluvia, las precipitaciones pluviales en los distritos Mazamari y Llaylla son muy elevadas, tal como se muestra en las figuras 1 y 2, a tal punto que reducen la capacidad portante y la resistencia de los suelos, y ocasionan deslizamientos, hinchamientos y erosión de las carreteras no pavimentadas. Se hace mención de unos casos en particular en los proyectos relacionados al mejoramiento de las carreteras no pavimentadas que son ejecutados por la Municipalidad Distrital de Mazamari para los diversos anexos del distrito tales como: los centros poblados Nazca, Santa Rosa de Chiriari, Unión Puerto Ashaninka, Materiato, Nueva Esperanza, Nuevo Lince, Panga, etc. No se considera la estabilización del suelo con

algún agente estabilizador; normalmente se emplean el material granular de las canteras que es denominado con el nombre de ripio. La gravedad de estos trabajos radica en que el tiempo de duración del afirmado es poco, y, también la resistencia alcanzada es baja.

Figura 1.

Mapa del Distrito de Mazamari



Nota: Mapa de la provincia de Satipo, 2013.

Figura2.

Precipitaciones Pluviales



Nota: Precipitaciones pluviales de gran intensidad en el Distrito de Mazamari- Fuente: Fuente RPP Noticias, 2017.

Según la fuente RPP Noticias (17 de enero del 2017), tal como se muestra en la figura 3 afirma: Fuertes lluvias cubrieron de lodo y piedra las carreteras sin asfaltar de los poblados de Cañete, Materiato, Río Blanco, Nuevo Amanecer, San Vicente de Cañete y Chilcamayo en el distrito de Mazamari. Se afirma que este problema surge cada año en los meses de enero, febrero y marzo periodo en el que las lluvias tienen altas intensidades.

Figura 3.

Camino Vecinal del Distrito de Mazamari

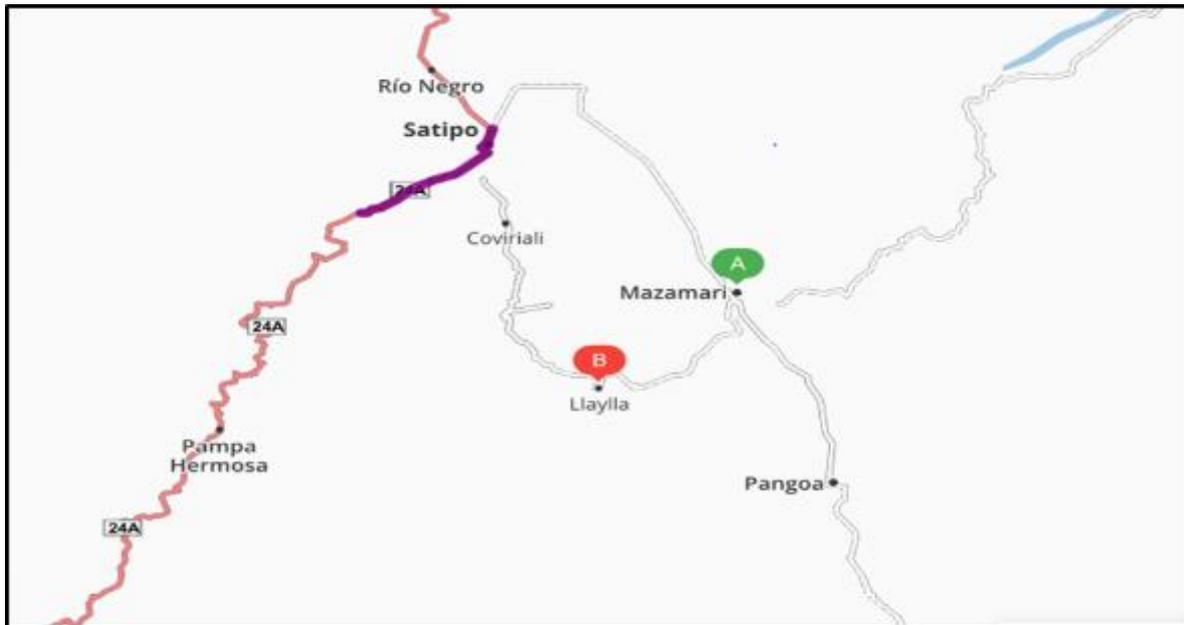


Nota: Los caminos vecinales del distrito de Mazamari se encuentran intransitables. Fuente: Fuente RPP Noticias, 2017

Debido a los constantes problemas relacionados con la inestabilidad del suelo en los caminos vecinales del distrito de Mazamari, la presente investigación tomó como área de estudio el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera no pavimentada de Mazamari – Llaylla que tiene una extensión de 13.5 km, el trayecto específico de estudio constó de 4km tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4.

Ubicación de la trayectoria Carretera Mazamari-Llaylla



Nota: Ubicación de la trayectoria carretera Mazamari – Llaylla, Fuente: Ruta Michellin, 2015.

El Instituto Nacional de Defensa Civil informó que: precipitaciones pluviales incrementaron el caudal del río Panga, distrito de Mazamari, originando desborde de las viviendas, vías de transporte y comunicación (INDECI, 23 de febrero del 2016). Este hecho es un problema permanente, por tal motivo, en esta investigación se buscó difundir cómo afecta el uso de cemento en la caracterización de la durabilidad y resistencia del suelo – cemento para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari – Llaylla, del distrito de Mazamari – provincia Satipo – departamento Junín. En la figura 5, puede observarse parte de la carretera no pavimentada del trayecto Mazamari-Llaylla.

Figura 5.

Carretera no Pavimentada Mazamari- Llaylla.



Nota: Carretera No Pavimentada Mazamari – Llaylla. Fuente: Elaboración Propia,2021

2.2 Formulación del Problema

2.2.1 Formulación General del problema

¿Cómo afecta el uso de cemento en la caracterización de la durabilidad y resistencia del suelo – cemento para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari – Llaylla, del distrito de Mazamari – provincia Satipo – departamento Junín?

2.2.2 Formulación Específico del problema

¿Cuál es el punto más crítico de la carretera medido con el CBR para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari-Llaylla, del distrito de Mazamari-provincia Satipo-departamento Junín?

¿Es posible mejorar la densidad de los suelos mediante la estabilización del suelo con cemento para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari- Llaylla, del distrito de Mazamari- provincia Satipo- departamento Junín?

¿Cuál es la proporción racional del cemento entre 3% y 12% para la durabilidad y resistencia del suelo estabilizado con cemento en el punto más crítico para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari-Llaylla, del distrito de Mazamari-provincia Satipo-departamento Junín?

2.3 Justificación de la Investigación.

La realización de este trabajo busca expandir las investigaciones basadas en estudios que evalúan la durabilidad y resistencia de un suelo estabilizado con cemento Portland tipo I. Se ha empleado los conocimientos de mecánica de suelos y geotécnica en los ensayos de laboratorio para describir el parámetro de resistencia de un suelo poco conocido en la selva central con una estratigrafía diferente, con un clima cálido y húmedo con fuertes precipitaciones pluviales en los meses de diciembre a marzo. En la práctica, se determinó la durabilidad del suelo estabilizado con cemento Portland tipo I, sometido a la humedad y el calor, evaluado a varios intervalos de días. En esta etapa se comprendió la viabilidad de la investigación que constó de un suelo estabilizado con cemento Portland tipo I; asimismo, se examinó la resistencia del suelo estabilizado con cemento. También se hace la difusión de la técnica para estabilizar el suelo con cemento Portland tipo I. En la ingeniería civil, para el área de infraestructura vial y geotecnia, se muestra una medida para estabilizar el suelo con cemento portland tipo I aplicando la proporción racional. Actualmente, el distrito de Mazamari cuenta con varios accesos de carreteras no pavimentadas. El mantenimiento de estos se realiza con diversas maquinarias. Se emplea el caliche como base granular y, luego, son compactados con el rodillo liso. La duración del acceso es corta debido a las constantes precipitaciones que ocasionan huecos en las carreteras no pavimentadas impidiendo la correcta transitabilidad vehicular y peatonal. Es por ello que esta tesis buscó investigar y difundir la estabilización del suelo con cemento Portland tipo I tomando como muestra el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la trayectoria de la carretera Mazamari-Llaylla .

Debido a los problemas que presentan los suelos en la selva central del Perú, específicamente en el distrito de Mazamari, carretera Mazamari – Llaylla como son la: falta de estabilidad, baja resistencia a la compresión, pérdida de esfuerzo cortante, erosión por causa de las lluvias, hinchamiento de las arcillas, aumento de la plasticidad cuando están en contacto con el agua ,huecos y partículas de polvo que impiden la transitabilidad vehicular y peatonal en la carretera no pavimentada, además de la existencia de una mala serviciabilidad para el tránsito vehicular y peatonal , esta investigación tuvo el propósito de evaluar los suelos con la inclusión de cemento Portland tipo I, a fin de determinar la durabilidad y resistencia para los suelos de acuerdo a su estratigrafía , granulometría, composición y densidad para luego obtener un accesible tránsito vehicular .

La utilidad de esta investigación fue reducir la explotación de las canteras, ya que constantemente se usan los materiales granulares para el ripiado de las carreteras no pavimentadas y no se emplean los agentes estabilizadores como el cemento. Dicho material ripio es material de la naturaleza que tarda varios años en formarse y, con el pasar de los años habrá escasez. También se buscó difundir esta técnica a los ingenieros para que puedan emplear esta forma de estabilizar el suelo en las carreteras no pavimentadas. Por otra parte, de acuerdo a los proyectos viales ejecutados por la municipalidad de Mazamari se afirma que el % CBR del suelo en las carreteras no pavimentadas del distrito de Mazamari es muy baja por lo que en esta investigación busca mejorar la resistencia de los suelos orientados en la selva central del Perú. Paralelamente se tuvo como finalidad evaluar la durabilidad del suelo estabilizado con cemento.

La estabilización de los suelos es muy beneficiosa para la sociedad, porque mejora la capacidad de resistencia a la flexión, tracción y compresión en los suelos, reduce la deformabilidad e incrementa la durabilidad. Esta investigación buscó estabilizar los suelos para que los agricultores puedan transportar hacia la zona urbana o hacia otros distritos. La

gran mayoría de los pobladores de la selva central se dedican a la agricultura, esta es su principal fuente de ingreso; cultivan productos como (café, cacao, plátano, naranja, piña, yuca, papaya, etc.). Paralelamente, la población se dedica a la ganadería y la piscigranja, por lo que se necesita una buena carretera no pavimentada para transportarse con el fin de vender sus productos a las distintas empresas de la región y, con ello, hallar una mejora en su propia economía. Una carretera en buenas condiciones resulta de gran importancia en la circulación de productos y en la generación de importaciones desde las ciudades más desarrolladas del país. Estas actividades comerciales, sin duda, generan un mayor crecimiento para un pueblo o distrito como lo es el de la presente investigación. Respecto al impacto económico, se buscó mejorar la cimentación de las carreteras no pavimentadas con el propósito de reducir los gastos de reparación que son parte del trabajo de la Municipalidad Distrital de Mazamari y del Gobierno regional de Junín.

2.4 Objetivos de la Investigación.

2.4.1 Objetivo General.

Determinar el efecto del uso de cemento en la caracterización de la durabilidad y resistencia del suelo – cemento para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari – Llaylla, del distrito de Mazamari – provincia Satipo – departamento Junín.

2.4.2 Objetivos Específicos.

- ✓ Determinar el punto más crítico de la carretera medido con el CBR para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari –Llaylla del distrito de Mazamari – provincia Satipo – departamento Junín.
- ✓ Determinar la densidad de los suelos mediante la estabilización del suelo con cemento para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari-Llaylla del distrito de Mazamari- provincia Satipo- departamento Junín.

- ✓ Determinar la proporción racional del cemento entre 3% y 12% para la durabilidad y resistencia del suelo estabilizado con cemento en el punto más crítico para el tramo km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari-Llaylla, del distrito de Mazamari- provincia Satipo – departamento Junín.

CAPITULO III: Marco Teórico

3.1 Antecedentes del Problema.

3.1.1 Antecedentes Internacionales

García (2019) realizó una investigación titulada “Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín”, proyecto investigativo de la Universidad Católica de Colombia. Utilizó los suelos finos tipo caolín con las proporciones 0%,4%,8%,10% y 12% de cemento, asimismo empleó los ensayos monotónicos de resistencia a la compresión no confinada y resistencia a la tracción directa, paralelamente los especímenes fueron curados en 7,14 y 28 días. Concluyó que el cemento controla el índice de plasticidad y disminuye el límite líquido; luego a mayor proporción de cemento, se requiere mayor fraguado; y, a menor proporción de cemento, menor fraguado. Finalmente, la mayor resistencia a la compresión fue alcanzada con 12% de cemento, mientras que para la resistencia a la tracción el 10% de cemento fue el que predominó.

Jurado y Clavijo (2016) desarrollaron una investigación titulada “Estabilización de suelos con cemento tipo MH para mejorar las características físicas y mecánicas del material de subsuelo de la zona de talleres y cocheras de la PLMQ, sector Quitumbe”. Trabajo realizado en la Pontificia Universidad Católica Ecuador. El área de estudio fue en el proyecto Primera Línea Metro Quito (Túnel Subterráneo), se trabajó con las muestras de suelo que surgió del material excavado a este se le adicionó el cemento tipo MH con las proporciones de 6%,9%,12% y 15%, tuvo como objetivo mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Se realizaron los siguientes ensayos: Proctor modificado (óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca); Ensayo triaxial no consolidado – no drenado (parámetro resistencia al corte, cohesión y fricción); Resistencia a la compresión simple a los 7 y 28 días; Durabilidad del suelo-cemento en condiciones secas y húmedas. Se concluyó, en primer

lugar, que el índice plástico (IP) disminuyó en 67.2% en relación al suelo natural para todos los porcentajes de cemento tipo MH; en segundo lugar, la máxima densidad seca disminuyó en 0.3% para la dosificación máxima de 6% de cemento e incrementó en 1.8% para las dosificaciones de cemento mayores al 6%. En tercer lugar, el óptimo contenido de humedad creció en 6.6% para dosificaciones hasta 9% de cemento y disminuye en 5.8% para dosificaciones mayores a 9% cemento. En cuarto lugar, la cohesión se incrementó en 780% respecto a la cohesión en estado natural, y el ángulo de fricción mejoró en 269% respecto al suelo natural para porcentajes de 12% de cemento, y decreció para porcentajes de 15% de cemento. En quinto lugar, la resistencia a la compresión incrementó su valor hasta 1673% respecto al suelo natural, y su módulo de elasticidad de suelo cemento se incrementó en 70% para porcentajes de 15% cemento, por lo que el tiempo de curado de suelo cemento incidió directamente en la resistencia; y, a mayor tiempo de curado de suelo cemento mayor es su resistencia. En sexto lugar, la pérdida material en el ensayo de durabilidad de suelo – cemento tuvo un valor promedio de 4.54%. Finalmente, el porcentaje óptimo de cemento tipo MH es el 9% ya que presentó mejoras notables en sus características físicas y mecánicas.

Hidalgo (2016) desarrolló un trabajo de investigación titulado “Análisis comparativo de los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo- cemento, aplicado a suelos arcillosos de subrasante”, tesis de pregrado de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Se efectuaron los ensayos de granulometría y límites Atterberg para la identificación del suelo. También se efectuaron los ensayos CBR y Proctor modificado para la obtención de la resistencia al cortante, máxima densidad seca y humedad óptima de la subrasante. Se utilizó enzimas orgánicas y porcentajes de cemento para mejorar las propiedades de las muestras de suelo arcilloso, desarrollar la comparación y escoger la mejor alternativa en cuanto al costo y beneficio. Se concluyó que el suelo obtenido fue una arcilla de alta plasticidad CH. El suelo con enzimas orgánicas y suelo cemento mejoraron las

propiedades del suelo arcilloso. Asimismo, el costo por m² del suelo estabilizado con cemento fue más económico y beneficioso que el suelo estabilizado con enzimas orgánicas.

Murillo (2010) realizó una tesis de maestría titulado “Estudio del comportamiento de las bases de pavimentos rígidos en la ciudad de Cuenca y su influencia en el diseño”. El área de estudio fue en la ciudad de Cuenca-Ecuador, donde la Municipalidad efectuó trabajos de mantenimiento de losas de pavimento rígido. Se realizó los siguientes ensayos en laboratorio: ensayo granulométrico, límite de consistencia, peso específico máximo y humedad óptima (Ensayo Proctor modificado) y CBR. Se concluyó que la estabilización del suelo con cemento tiene un mejor comportamiento desde el punto de vista estructural, dándose una menor deformabilidad, mayor resistencia menor permeabilidad, con lo que se reduce el efecto de bombeo en el pavimento que es una de las causas para el fracaso de la estructura.

3.1.2 Antecedentes Nacionales

Castro y Navarro (2020) realizaron una investigación titulada “Propuesta de mejora de suelos arcillosos de alta plasticidad a nivel de subrasantes mediante la adición de cemento Portland para disminuir el cambio volumétrico provocado por las condiciones climáticas en la Av. Padre Salas, Villa Rica, Oxapampa, Pasco”; tesis pregrado de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Esta investigación tuvo como finalidad evaluar el potencial de resistencia y la expansión por medio del ensayo CBR. Se utilizó suelo con 10% de cemento, suelo con 15% de cemento y suelo con 20% de cemento, las cuales incrementaron el valor de CBR (máximo:138.7% ;y , mínimo 91.9%); logrando una reducción de 7.18% en la expansión de las muestras.

Morocho y Casaverde (2022) desarrollaron una investigación titulada “Diseño y aplicación de base estabilizada con cemento, producida en planta de suelos para el tramo 2 de la carretera departamental costanera II”, tesis pregrado de la Universidad de Piura tuvo como finalidad desarrollar el diseño en laboratorio para bases estabilizadas con cemento,

continuando con las directrices del manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC,2013), así como el manual de Soil-Cement Laboratory Handbook” de la Portland Cement Association (PCA,1992). Para encontrar la proporción óptima del suelo con porcentajes de cemento se aplicó los ensayos de densidad-humedad (MTC E 1102), resistencia a la compresión no confinada (MTC E 1103) y módulo de elasticidad estático (ASTM C 409) las proporciones de cemento para el diseño 1 fueron 2%,3%,4% y 5%, para el diseño 2 fueron 3%, 4% y 5%. Finalmente se desarrolló la estabilización del suelo tipo A-1-a(0) con la proporción óptima de 2.5% de cemento según manuales propuestos por la PCA , por lo cual, se obtuvo valores de resistencia a la compresión mayores a 21 kg/cm². Paralelamente los suelos tipo A-1-a (0) estabilizados con cemento tienen altas resistencias a la compresión con bajos porcentajes de cemento. Sin embargo, un exceso de aplicación de porcentajes de cemento puede causar el aumento en las probabilidades de aparición de grietas y fisuras.

Velásquez (2018) desarrolló una investigación titulada “Influencia del cemento Portland tipo 1 en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina”. Tesis Pregrado de la Universidad Nacional de Cajamarca. Se evaluó la influencia del cemento Portland en la estabilización de un suelo de alta plasticidad. Se utilizó el cemento en proporciones (1% ,3% y 5%), asimismo se desarrolló ensayos de contenido de humedad, análisis granulométrico, límite líquido, Proctor modificado y CBR. Finalmente, el suelo arcilloso se clasificó como A-7-6 (37) según AASHTO y como OH según SUCS. Con la adición de 5% de cemento su índice de plasticidad se redujo de 44% a 15%, su índice de contracción se redujo de 27% a 19% y su índice CBR se incrementó de 1.30% a 13.75% al 95% MDS.

Segura (2015), realizó una investigación titulada “Estabilización de suelos de alta plasticidad usando cemento Portland en el departamento de Lambayeque”. Tesis pregrado de

la Universidad Señor de Sipán. Según lo indicado en el estudio, se realizó los siguientes ensayos de laboratorio: análisis granulométrico, límites de consistencia, determinación del peso específico máximo y humedad optima, análisis de índice de expansión y resistencia a la comprensión simple. Esta tesis se enfocó en el estudio del cemento como agente estabilizador, con adiciones de diferentes proporciones de 7%, 10%,13%, 16%,19% y 22 %, con el fin de obtener una buena capacidad portante en (kg/cm²).

3.2 Bases Teóricas

3.2.1 El Cemento Portland

Según la empresa de artículos de construcción Cemex (2019), el cemento Portland es un conglomerante hidráulico, un material inorgánico finamente molido que, en contacto con el agua forma una pasta que fragua, endurece y conserva su resistencia y estabilidad.

Asimismo, la superficie de cada partícula de cemento hidráulico está conformado por una capa fibrosa que se enlaza con otra partícula de cemento o se adhiere a sustancias adyacentes.

De acuerdo a Pasquel (1998), el cemento Portland es un aglomerante hidrófilo. Es obtenido de la calcinación de rocas areniscas, arcillas y calizas; seguidamente, se adquiere un polvo muy fino que, en contacto con el agua se endurece, consiguiendo propiedades resistentes y adherentes. Asimismo, los tipos de cemento Portland son clasificados por la ASTM, según los porcentajes de sus componentes, los cuales se detallan en el siguiente en la Tabla 1.

Tabla 1.*Composición Química del Cemento*

ELEMENTO QUÍMICO	TIPO DE CEMENTO				
	I	II	III	IV	V
Silicato Tricálcico C3S (%)	50	45	60	25	40
Silicato Di cálcico C2S (%)	25	30	15	50	40
Aluminato Tricálcico C3A (%)	12	7	10	5	4
Aluminio Ferrito Tetracíclico C4AF (%)	8	12	8	12	10
CSH2 (%)	5	5	5	4	4
Fineza (Superficie específica Blaine (m ² /kg)	350	350	450	300	350
Resistencia a la compresión (por 1 día, Mpa)	7	6	14	3	6
Calor de hidratación (7 días, J/g)	330	250	500	210	250

Nota: Composición química típica de propiedades del cemento Portland: Fuente ASTM

3.2.2 Propiedades del Cemento Hidráulico**Finura**

La ASTM afirma, que la finura es una de las propiedades más importantes del cemento, ya que ella determina en gran medida la velocidad de hidratación, el desarrollo del calor de hidratación, la retracción y la adquisición de resistencia del cemento. Esta propiedad tiene gran importancia porque afecta a su resistencia y estabilidad. Si el cemento se encuentra molido con mayor finura, cubrirá mejor los granos de material inerte, generando mayor resistencia al mortero y/o mezcla resultante.

Resistencia a la Compresión

Para términos viales, y respecto a la estabilización del suelo con cemento, los moldes deben ser cilíndricas con 4 pulgadas de diámetro y 8 pulgadas de altura, y se debe cumplir la relación de $2 < H/D < 3$. Asimismo, las normas CE.020 Estabilización de suelos y taludes, Documento técnico soluciones básicas en carreteras no pavimentadas y la EG.2013, afirman que las probetas de suelo cemento deben ensayarse a los 7 días luego de haberse curado los especímenes.

Calor de Hidratación

El ASTM C 186, afirma que el calor de hidratación se determina por la reacción entre el cemento y el agua, principalmente, depende de la composición química del cemento C3A y C3S siendo los compuestos más importantes. Paralelamente la evolución del calor de hidratación depende de la relación agua/cemento, finura y temperatura de curado. También la generación de la gran cantidad del calor de hidratación surge en los 3 primeros días con una mayor tasa en las primeras 24 horas.

3.2.3 Tipos de Cemento Portland

Se muestra los tipos de cemento Portland y sus aplicaciones en la Tabla 2.

Tabla 2.

Tipos de cemento Portland y sus Aplicaciones

Tipos	Aplicaciones
TIPO I	De uso general Es muy común en construcciones de concreto, donde no se requiere propiedades especiales. Se aplica en climas fríos, pavimentos, cimentaciones.
TIPO II	Moderada resistencia de sulfatos Se emplea en ambientes agresivos es ideal en aguas subterráneas con altos contenidos de sulfatos.
TIPO III	Alta resistencia inicial Rápido desarrollo a la resistencia, ideal cuando se quiera adelantar con los encofrados, tiene un rápido fraguado apto para climas fríos.
TIPO IV	Bajo calor de hidratación Recomendado en vaciado de grandes presas de gravedad que contienen grandes masas de concreto.
TIPO V	Alta resistencia a los sulfatos Alta resistencia al ataque de sales, aplicable en estructuras, canales, alcantarillado en contacto con suelos, ácidos y/o aguas subterráneas

Nota: Se muestra los tipos de cemento según el clima y uso, Fuente ACI, 2018

3.2.4 Estabilización Suelo-Cemento

Según la norma CE 020 Estabilización de suelos y taludes, con la adición de cemento al suelo se busca mejorar las propiedades mecánicas de este último, sin llegar a condiciones de rigidez. Se pueden utilizar todos los tipos de cemento; no obstante, se sugiere utilizar los de fraguado y endurecimiento normales. También, la capa estabilizada con cemento tendrá un

espesor mínimo de 10cm, pudiendo recibir capas de tratamiento superficial asfáltico con espesor de 1.5 cm para tránsito ligero o medio. Asimismo, los contenidos de cemento se determinarán por medio de ensayos de compactación, durabilidad y compresión simple. Paralelamente para obtener una estabilización del tipo flexible los porcentajes de cemento pueden variar entre 1% a 4%, consiguiéndose reducir la plasticidad e incrementar levemente la resistencia. Por otro lado, para obtener una estabilización de tipo rígida los porcentajes de cemento pueden variar entre 6% a 14%, logrando mejorar el comportamiento de las bases incrementando el módulo de elasticidad. Luego el porcentaje óptimo se deberá calcular mediante ensayos en laboratorio.

La mezcla se debe diseñar mediante el ensayo de resistencia a la compresión simple y humedecimiento y secado en testigos, según normas MTC E 1103 y MTC E 1104. En el primero de ellos, se debe garantizar una resistencia mínima de 1.76Mpa (18kg/cm²) a los 7 días de curado húmedo, mientras que, en el segundo, el contenido de cemento debe ser tal que la pérdida de peso de la mezcla compactada al ser sometido al ensayo de durabilidad (humedecimiento y secado), no supere los límites mostrados en la Tabla 3:

Tabla 3.

Pérdida en Testigos de compresión

Suelo por estabilizar	Pérdida máxima (%)
A-1, A-2-4, A-2-5, A3	14
A-2-6,A-2-7,A-4,A5	10
A-6, A-7	7

Nota: Pérdida de la mezcla compactada para el ensayo de durabilidad: Fuente CE.020 Estabilización de suelos y taludes

Tabla 4.*Clasificación y Descripción de los Suelos*

Clasificación AASHTO	Descripción
A-7-5 y A-7-6	Materiales orgánicos y arcillosos de alta plasticidad
A-6	Materiales orgánicos de baja compresibilidad y limos de alta compresibilidad
A-5	Arcillas y limos de baja compresibilidad
A-4	Arenas arcillosas
A-3	Arena de pobre gradación
A-2-6 y A-2-7	Arenas limosas
A-2-4 y A-2-5	Arenas bien graduadas
A-1-b	Gravas de pobre gradación
A-1-a	Gravas bien gradadas

Nota: Se muestra la clasificación y descripción de los suelos según AASHTO: Fuente CE.020 Estabilización de suelos y taludes.

3.2.5 Dosificación del Cemento

La norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes recomienda, para estabilización de pavimentos flexibles utilizar los porcentajes entre 1% a 4% de cemento, para estabilización rígida sugiere utilizar las proporciones 6% a 14% de cemento. Para el diseño de capas sugiere un espesor mínimo de la capa estabilizada (15cm) pudiendo ser cubiertas por capas de tratamiento asfálticos de espesor mínimo (1.5cm) para tráfico ligero a medio.

3.2.6 Suelos

Según (Rivera .2011). Desde el punto de vista de la ingeniería geológica, el suelo se define como un agregado, de los minerales unidos por fuerzas débiles de contacto normal y tangencial a las superficies de las partículas adyacentes.

Los suelos tienen su origen en los materiales rocosos preexistentes que constituyen la roca madre sometida a la acción ambiental disgregadora de la erosión de los agentes geológicos y la meteorización por los agentes atmosféricos en sus tres tipos:

- La acción mecánica o física debido al cambio de temperatura, acción de las heladas que tienden a romper las rocas y dividirla en fragmentos pequeños, que van a formar las partículas del suelo.
- La acción química originada por la acción de la hidratación, oxidación y otros procesos químicos que tiende a descomponer la roca.
- La acción biológica producida por la acción bacteriana de las raíces de las plantas, etc.

3.2.7 Tipos de Suelos

Según Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO). Se basa en los siguientes criterios:

- 1) Tamaño del grano

Grava: Fracción que pasa la malla de 76.2mm y es retenida en la malla N°10 (2mm).

Arena: Fracción que pasa la malla N°10 (2mm) y es retenida en la malla N° 200 (0.075mm).

Limo: 0.075mm a 0.002 mm

Arcilla: < 0.002mm.

- 2) Plasticidad

El termino *limoso* se aplica cuando las fracciones de finos del suelo muestran un índice de plasticidad de 10 o menor.

- 3) Si cantos rodados y boleos (tamaños mayores a 75mm)

Estos se excluyen de la proporción de la muestra de suelo que se está clasificando. Sin embargo, el porcentaje de tal material se registra.

Según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) se basa en los siguientes criterios:

Grava: 76.2mm a 4.75mm

Arena: 4.75mm a 0.075mm

Limos y arcillas: < 0.075mm

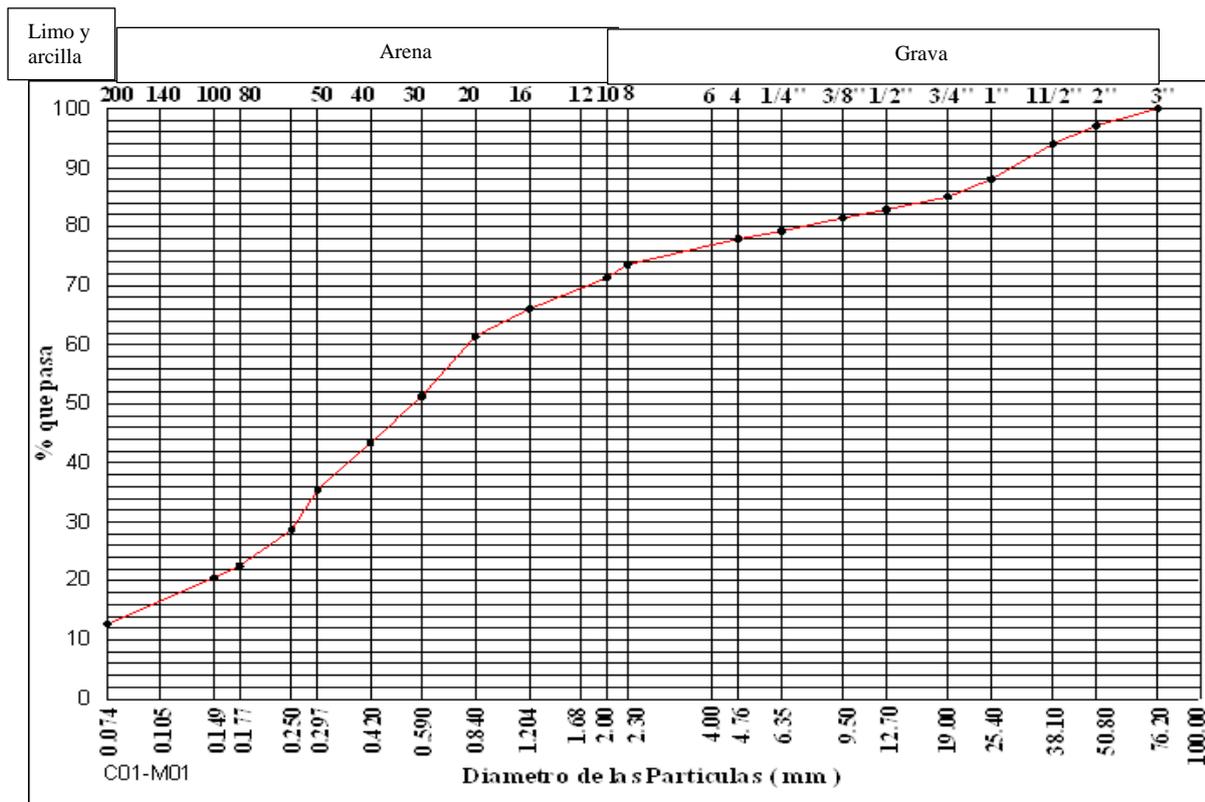
3.3 Marco Conceptual

3.3.1 Curva de distribución granulométrica

A continuación, en la Figura 6, se muestra la curva de distribución granulométrica, según AASHTO.

Figura 6.

Curva de Distribución Granulométrica



Nota: Se muestra la Curva de Distribución Granulométrica según AASHTO, Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.3.2 Tamaño Efectivo, Coeficiente de Uniformidad y Coeficiente de Curvatura

La curva de distribución de tamaño de partícula (Figura 7) puede ser utilizada para comparar diferentes sólidos. A partir de estas curvas, pueden determinarse también tres parámetros básicos de suelos que se usan para clasificar granularmente los suelos. Estos tres parámetros son:

1. Tamaño efectivo
2. Coeficiente de uniformidad
3. Coeficiente de gradación

El diámetro en la curva de distribución de tamaño de partícula correspondiente al 10% más fino se define como tamaño efectivo o D10. El coeficiente de uniformidad está dado por la siguiente relación.

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

Donde Cu = coeficiente de uniformidad

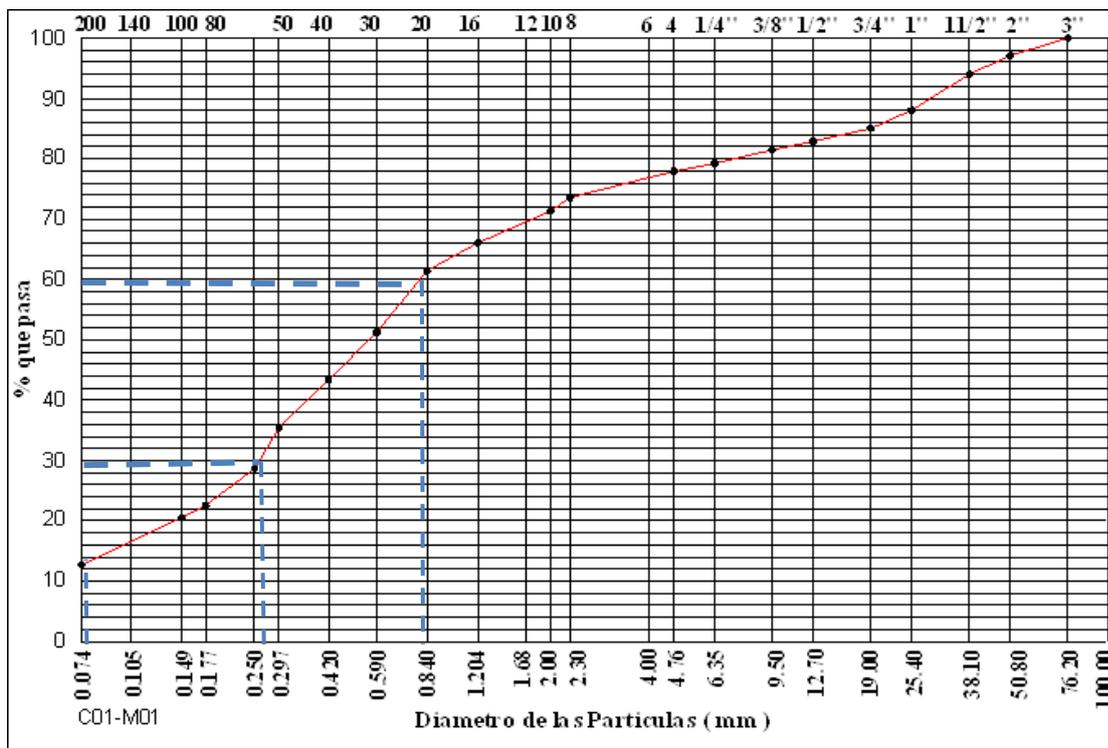
D60 = diámetro correspondiente al 60% más fino en la curva de distribución de tamaño de partícula.

El coeficiente de gradación puede ser expresado de la siguiente forma

$$Cc = \frac{D30^2}{D60 \times D10}$$

Figura 7.

Coefficiente de Uniformidad, según AASHTO



Nota: Se muestra la gráfica del Coeficiente de Uniformidad según AASHTO, Fuente: Elaboración propia, 2022

3.3.3 Límite líquido (LL)

Se muestra la Figura 8 para determinar el límite líquido. Para este ensayo, se emplea la copa de Casagrande.

Figura 8.

Copa de Casagrande



Nota: Se muestra la imagen de la Copa de Casagrande, Fuente: elaboración propia, 2022.

$$PI = LL - PL$$

PI: Índice plasticidad, LL: Limite líquido, PL: Limite plástico

3.3.4 Clasificación del suelo

En la actualidad, existe dos sistemas de clasificación que se utilizan para la distribución granulométrica y la plasticidad de los suelos. Ambos son comúnmente utilizados para aplicaciones ingenieriles.

Se trata del AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). En Estados Unidos, el sistema AASHTO es utilizado principalmente para proyectos de carreteras estatales, mientras que los ingenieros geotécnicos normalmente prefieren utilizar el SUCS. En esta investigación se usará el procedimiento de clasificación AASHTO.

Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO

Se muestra la Figura 9 y 10, en dónde. Se detalla el grupo de clasificación de los suelos de acuerdo a la granulometría, límite líquido e índice de plasticidad.

Figura 9.

Cuadro esquemático de Clasificación de Suelos

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						

Nota: Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica - Clasificación del Suelo AASHTO, Fuente: Braja, M.Das, 2013.

Figura 10.

Clasificación de Suelos

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
<i>Grupo de clasificación</i>				
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)				
Núm. 10				
Núm. 40				
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo			
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$				
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$				

Nota: Fundamentos de la Ingeniería geotécnica - Clasificación del Suelo AASHTO, Fuente: Braja, M.Das, 2013.

Respecto al índice de grupo está dado por la siguiente tabla de la ecuación:

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

Donde

F = porcentaje pasado por el tamiz núm. 200

LL = límite líquido

PI = índice de plasticidad

3.3.5 Compactación de Suelos

La finalidad es determinar la máxima densidad seca (MDS) y el óptimo contenido de humedad (OCH).

Prueba Proctor Estándar

Se desarrolla en la construcción de losas. Se utiliza un martillo compactador de 5.5 lb, la compactación es de 25 golpes/ 3capas, el volumen de molde es de 948 cm³. La energía de compactación es de 12320 lbxpie/pie³.

Prueba Proctor Modificado

Se desarrolla en la construcción de carreteras. Se utiliza un pistón de 10 lb, el volumen del molde varía entre 943.3 cm³ y 2129 cm³. La energía de compactación es 56125 lbxpie/pie³. Para la compactación existen tres métodos (A, B, y C). Para seleccionar el método se realiza el tamizado con los tamices $\frac{3}{4}$, N°04 y 3/8.

$$E = \frac{(25 \frac{\text{golpes}}{\text{capa}})(5 \text{ capas})(44.5 \times 10^{-3} \text{ KN})(0.4572 \text{ m})}{943.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 2696 \text{ KN} - \text{m/m}^3$$

Tabla 5.

Métodos para el Proctor Modificado

Elemento	Método A	Método B	Método C
Diámetro molde	101.6mm	101.6mm	152.4mm
Volumen molde	943.3cm ³	943.3cm ³	2124cm ³
Peso del martillo	44.5 N	44.5 N	44.5N
Altura de la caída del martillo	457.2mm	457.2mm	457.2mm
Numero de golpes del martillo por cada de suelo	25	25	56
Numero de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación suelo utilizado	2696 KN-m/m ³	2696 KN-m/m ³	2696 KN-m/m ³
Suelo utilizado	Porción que pasa el tamiz num.4 (4.57mm). Puede ser utilizada si 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz num.4	Porción que pasa el tamiz 9.5mm. Puede ser utilizada si el suelo retenido en el tamiz num.4 es más del 20% y 20% o menos del peso es retenido en el tamiz 9.5mm	Porción que pasa el tamiz 19mm. Puede ser utilizada si más de 20% del peso de material es retenido en el tamiz 9.5mm y menos de 30% del peso del material es retenido en el tamiz 19mm

Nota: Fundamentos de la Ingeniera Geotécnica- Prueba Proctor Modificado, Fuente: Braja, M.Das, 2013.

3.3.6 Ensayo de CBR

El ensayo CBR corresponde al California Bearing Ratio. Es un método de análisis de la resistencia del esfuerzo cortante de un suelo compactado con cargas variables bajo condiciones de humedad y densidad controlada. Es un método propuesto por los ingenieros T.E stanton y O.J Porter del departamento de División de carreteras de Estados Unidos en 1929 como una forma de clasificar el suelo para ser utilizado para una subrasante, subbase y una base en una carretera.

La presión del pistón y deformación patrón del ensayo CBR a una velocidad constante de 1.27 mm/min, realizado en california. Con el cual cualquier suelo natural es comparado para determinar el porcentaje de CBR.

Tabla 6.

Características de las muestras CBR

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	NM/m2	kgf/cm2	lb/plg2
2.54	0.1	6.9	70.31	1000
5.08	0.2	10.35	105.46	1500

Nota: Se aprecian las características de la muestra patrón, Fuente: MTC, 2013.

A partir de la segunda guerra se utilizó en la construcción de aeropuertos. Desde esa fecha tanto Europa como Latinoamérica hacen uso de este ensayo por su sencillez y, aun que tiene un juicio de valor es un método aceptado por los ingenieros.

El valor de CBR se usa para obtener el Módulo Resiliente del suelo (M_r), que es el parámetro fundamental utilizado en el diseño de cualquier estructura de pavimento convencional, bien sea para vías de altos o bajos volúmenes de tránsito.

3.3.7 CBR-MTC E 132

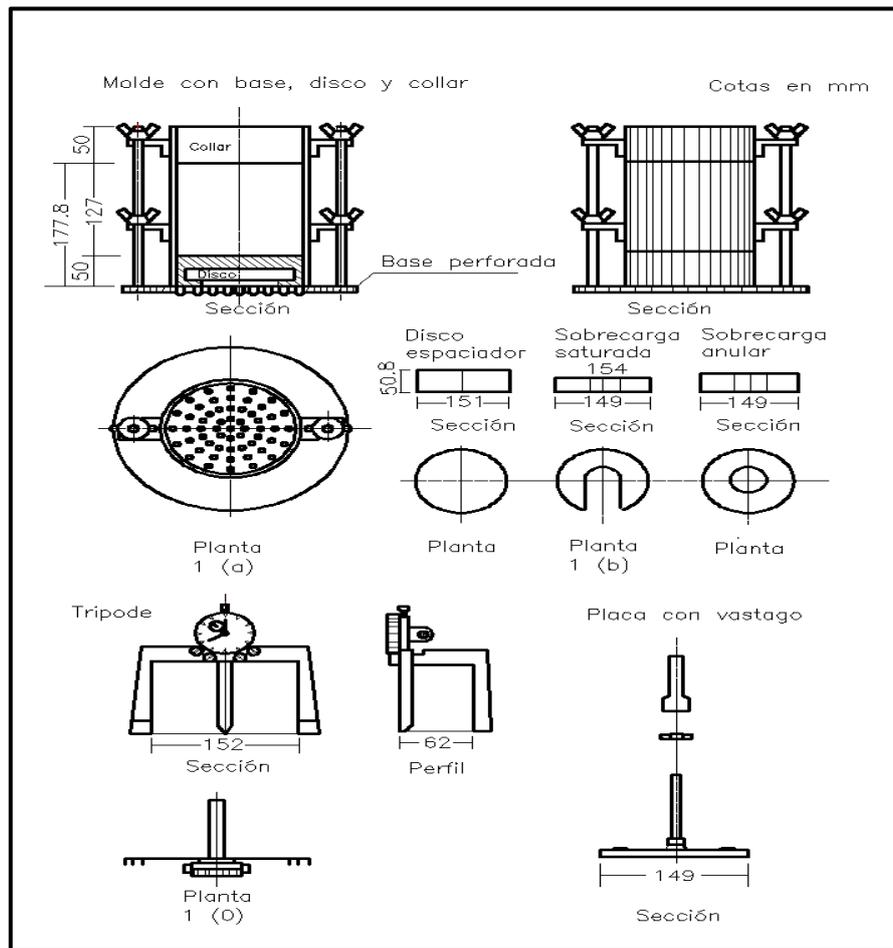
CBR SUELOS (LABORATORIO)

Este método de ensayo se emplea para evaluar la resistencia potencial de subrasante, sub base y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento flexible.

EQUIPOS. Son los siguientes:

- ✓ Prensa similar a los ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen.
- ✓ El desplazamiento entre la base y el cabezal se debe ser regular a una velocidad uniforme de 1,27 mm/min
- ✓ Molde, de metal, cilíndrico, de 152,4mm \pm 0,66 mm (6 \pm 0,026") de diámetro interior y de 177,8 \pm 0,46 mm (7 \pm 0,018") de altura.
- ✓ Disco espaciador, de metal, de forma circular.
- ✓ Pisón de compactación de ensayo Proctor modificado.
- ✓ Aparato medidor de expansión (trípode)
- ✓ Pesas. Uno o dos pesas anulares de metal que tengan una masa total de 4,54 \pm 0,02kg y pesas ranuradas de metal cada una con masas de 2,27 \pm 0,02 kg
- ✓ Pistón de penetración, metálico de sección transversal circular, de 49,63 \pm 0,13 mm (1,954 \pm 0,005") de diámetro, área de 19,35 cm² (3 pulg²).
- ✓ Diales para medir la penetración

Figura 11.
CBR Suelos



Nota; Se muestra el CBR Suelos (laboratorio), Fuente: MTC, 2016.

Muestras

Si todo el material pasa el tamiz de $\frac{3}{4}$ " no se realizará ninguna modificación en su gradación, en caso contrario este material deberá ser reemplazado y removido.

Procedimiento

Las muestras deberán encontrarse secados a 60 °C, luego pesar el molde con su base, se coloca el collar y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro. Para suelos granulares, la prueba se efectúa dando 55, 26 y 12 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima.

Si el espécimen se va a sumergir, se toma una porción de material, entre 100 y 500g (según sea fino o tenga grava).

Terminada la compactación, se quita el collar y se enrasa el espécimen por medio de un enrasador o cuchillo de hoja resistente y bien recta. Cualquier depresión producida al eliminar partículas gruesas durante el enrase, se rellenará con material sobrante sin gruesos, comprimiéndolo con la espátula.

Inmersión. Se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y sobre esta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4,54 kg.

Se toma la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del dial con el de la placa perforada. Se anota su lectura, el día y la hora. A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior.

Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento.

Después del periodo de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación se retira la sobrecarga y la placa perforada. Inmediatamente se pesa y se procede al ensayo de penetración.

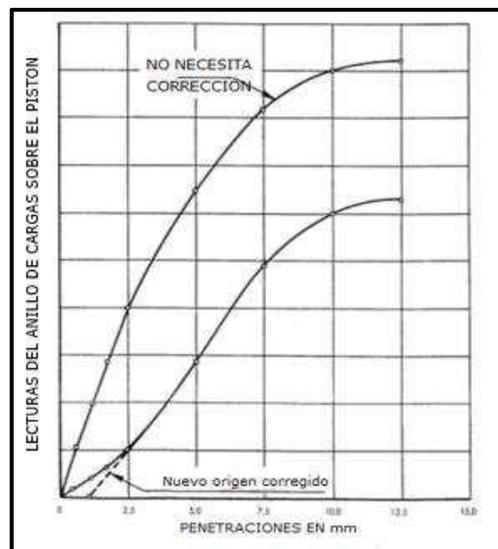
Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1,27 mm (0,05") por minuto.

Cálculos

Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta ello se toman los valores correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2") de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.

Figura 12.

Grafica de CBR Suelos



Nota: Se muestra un modelo de grafica de CBR Suelos (laboratorio), Fuente: MTC, 2016.

3.3.8 Subrasante

(Menéndez, 2013), en primer lugar, afirma que la subrasante es el soporte natural, preparado y compactado donde se puede construir un pavimento. En segundo lugar, la función de la subrasante es dar un apoyo razonable uniforme, sin cambios en el valor de capacidad de soporte; asimismo, se debe tener cuidado con la expansión y contracción del suelo. Finalmente, las propiedades para analizar en la subrasante son las propiedades físicas (granulometría, límites de consistencia, densidad, contenido de agua), propiedades de rigidez (módulo resiliente, CBR), propiedades hidráulicas (permeabilidad).

Según el Manual de carreteras (2013), en la sección de suelos y pavimentos, se afirma que la subrasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanada y la estructura del pavimento. La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportará la estructura del pavimento.

Se consideran como materiales aptos para la coronación de la subrasante suelos con CBR igual o mayor de 6%.

Tabla 7 .

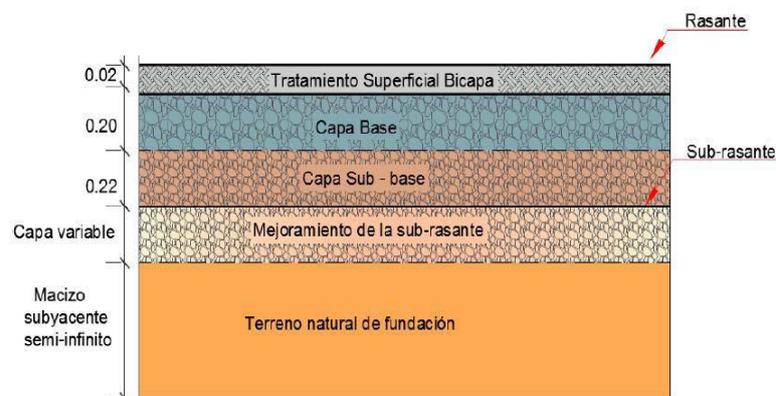
Categorías de Subrasante

CATEGORIAS DE LA SUBRASANTE	CBR
So: Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante Pobre	De CBR \geq 3% A CBR < 6%
S2: Subrasante Regular	De CBR \geq 6% A CBR < 10%
S3: Subrasante Buena	De CBR \geq 10% A CBR < 20%
S4: Subrasante Muy Buena	De CBR \geq 20% A CBR < 30%
S5: Subrasante Excelente	De CBR \geq 30%

Nota: Categorías de Subrasante, Fuente: MTC, 2013.

Figura 13.

Sección Transversal Pavimento Flexible



Nota: Sección transversal - pavimento flexible, Fuente: MTC, 2013.

3.3.9 Pavimento

El Manual de carreteras (2013), en la sección de suelos y pavimentos, menciona que el pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad durante el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, sub base y capa de rodadura.

Capa de Rodadura: Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.

Base: Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ($\text{CBR} \geq 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento.

Sub base: Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Dicha capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento.

3.3.10 Exploración de suelos

Según el Manual de Carreteras (2013), en la sección de suelos y pavimentos, se menciona que, para determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante se llevarán a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5 m de profundidad mínima; el número mínimo de calicatas por kilómetro, será de acuerdo a Tabla 8.

Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada, dentro de la faja que cubre el ancho de la calzada, a distancias aproximadamente iguales.

Tabla 8.*Exploración de suelos*

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayorde 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	· Calzada 2 carriles por sentido:4 calicatas x km x sentido · Calzada 3 carriles por sentido:4 calicatas x km x sentido · Calzada 4 carriles por sentido:6 calicatas x km x sentido	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	· Calzada 2 carriles por sentido:4 calicatas x km x sentido · Calzada 3 carriles por sentido:4 calicatas x km x sentido · Calzada 4 carriles por sentido:6 calicatas x km x sentido	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	· 4 calicatas x km	
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	· 3 calicatas x km	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	· 2 calicatas x km	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	· 1 calicata x km	

Nota: Se muestra la tabla de Exploración de suelos, Fuente: MTC, 2013.

En el trabajo de investigación se ejecutaron las calicatas por cada kilómetro debido a que la carretera no pavimentada fue de bajo volumen de tránsito. Para esta actividad se tomó lo indicado en el Manual de Carreteras suelos y pavimentos.

3.3.11 Resistencia a la Compresión no Confinada

Basado en la norma ASTM D 2116. La carga por unidad de área a la cual un espécimen cilíndrico de suelo fallará en un ensayo de compresión simple.

En estos métodos de ensayo se toma la resistencia a la compresión no-confinada como la carga máxima alcanzada por unidad de área, o la carga por unidad de área al 20% de deformación axial, la que se obtenga primero durante un ensayo. Se aplica solo a suelos finos (limos y/o arcillas) o mezclas de ellos, con la finalidad de obtener su cohesión y su módulo de elasticidad (c y E).

ML: Limo con baja plasticidad.

MH: Limo con alta plasticidad

CL: Arcilla con baja plasticidad.

CH: Arcilla con alta plasticidad.

OL: Suelo orgánico con baja plasticidad

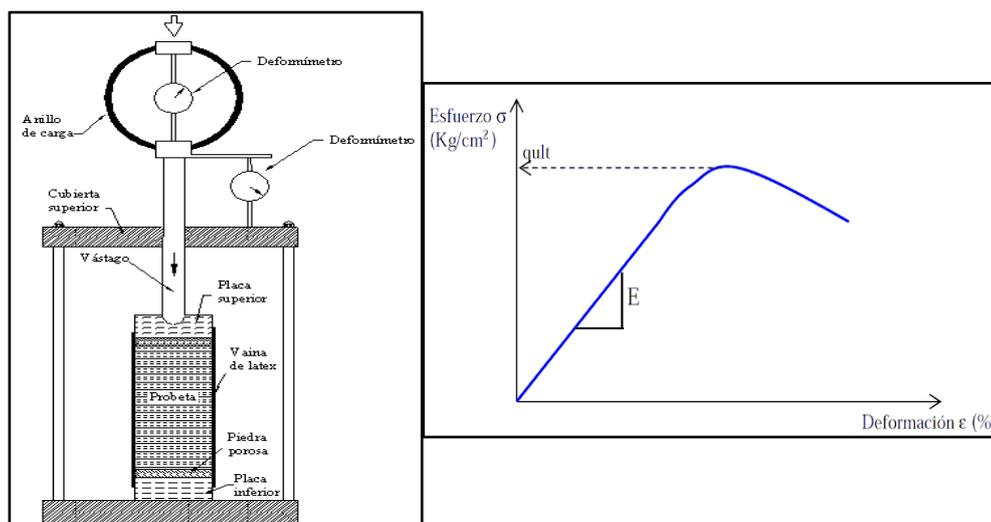
OH: Suelo orgánico con alta plasticidad.

La muestra a ensayar puede ser alterada o inalterada, de la cual se obtiene o prepara un espécimen cilíndrico que debe cumplir la relación $2 < h/d < 3$.

Se aplica una carga vertical a velocidad constante 0.64 mm/ minutos, permitiendo la deformación vertical del suelo hasta que fisure o falle.

Figura 14.

Ensayo de compresión no confinada



Nota: Ensayo compresión no confinada, Fuente: Norma ASTM D-2166

Según la norma (ASTM D 2166), este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la compresión no confinada de suelo cohesivo en las condiciones inalterada y remodelada, empleado la aplicación de la carga ya sea por deformación controlada o por esfuerzo controlado. El propósito principal del ensayo de compresión no confinada es obtener de manera rápida valores cuantitativos aproximados de la resistencia a la compresión para permitir su ensayo sin confinamiento. En general, este método es útil para obtener la cohesión en suelos finos y poder calcular la resistencia al esfuerzo cortante.

3.3.12 Preparación y Curado en el Laboratorio de Probetas Suelo-Cemento

Según la norma MTC E 1101, basado en la ASTM D 1632-17, tiene como objetivo establecer el procedimiento para moldear y curar en el laboratorio probetas de suelo-cemento, utilizadas en pruebas de compresión, bajo condiciones precisas de ensayo y de materiales.

Equipos y Materiales

Los moldes serán de acuerdo a los procedimientos alternativos, método A ó Método B indicados en el **MTC E-1103**.

Preparación de los Materiales

Trabajar con muestras de suelo secos a una temperatura de 60°C. El secado debe ser al aire o con un aparato de secado. Desarrollar el procedimiento según el MTC E 1101

La cantidad requerida del óptimo contenido de humedad para la mezcla suelo - cemento, se hallará mediante el ensayo Proctor estándar similar al procedimiento del MTC E 1102 necesaria para producir suelo cemento de calidad adecuada para construcción de vías y bases.

Curado

Cúrese los moldes dentro de una cámara húmeda por 12 horas a más con la finalidad de que el suelo se adhiere con el cemento y tenga menor cantidad espacios de vacíos. *Sin embargo, el documento técnico soluciones básicas en carreteras no pavimentadas, la norma*

CE.020 Estabilización de suelos y taludes, la EG.2013, basándose en el diseño de mezcla para suelo - cemento indicado por la Portland Cement Association (PCA), sugiere curar las mezclas moldeados y compactados por 7 días húmedos para luego realizar el ensayo de compresión simple.

3.3.13 Relaciones de Humedad-Densidad (Suelo-Cemento)

Basado en la norma del MTC E 1102 que toma como referencia la ASTM D- 558, AASHTO T-134. La finalidad es encontrar el óptimo contenido de humedad del agua para luego utilizarla en la preparación y curado de especímenes necesarios para el ensayo de compresión simple del suelo – cemento.

Método A: Para muestras de suelo que pasan por el tamiz de 4,75 mm (N.º 4). Deberá emplearse este método cuando el 100% de la muestra del suelo pasa el mencionado tamiz

Método B: Para muestras de suelo que pasan un tamiz de 19,0 mm (3/4 pulg). Deberá emplearse este método cuando Parte del suelo queda retenido en el tamiz de 4,75 mm (Nº4)

Equipos y materiales

El conjunto del molde y del collar deben tener un diámetro de 101,6 mm (4 pulg) y debe ser semejante al del ensayo (Proctor estándar) con molde de 944 cm³ y martillo compactador de 5.5 lb.

El pistón puede ser operado manual o mecánicamente, y cumplirá con las condiciones exigidas para los del ensayo MTC E116 (Proctor estándar).

Procedimiento

Método A

Mezclar la muestra de suelo cemento agregar la proporción del agua hasta encontrar el óptimo contenido de humedad. El mezclado debe realizarse de manera uniforme.

Fórmese un espécimen compactando en el molde con el collar ajustado, usando la mezcla preparada de suelo cemento, en tres capas iguales, logrando una profundidad total

compacta de alrededor de 125 mm (5 pulg). Compáctese cada capa mediante 25 golpes/ 3 capas con un martillo de 5.5 lb, similar al ensayo Proctor estándar.

Tomar una muestra representativa de 100g como mínimo, luego secarlo a 110°C. Finalmente, anotar el resultado de humedad de la mezcla de suelo cemento compactado.

METODO B

Proceder de igual forma al método A

3.3.14 Resistencia a la Compresión de Probetas Suelo-Cemento (MTC E 1103)

Según la norma MTC E 1103 basado en el ASTM D 1633.

Método A. Este procedimiento emplea un cilindro de ensayo de 101,6 mm (4,0") de diámetro y de 116,4 mm (4,584") de altura. La relación de la altura al diámetro es de 1,15.

Método B. Este procedimiento emplea un cilindro de ensayo de 71,1 mm (2,8") de diámetro y de 142,2 mm (5,6") de altura. La relación de la altura al diámetro es de 2,0.

También se permite medidas de mayor tamaño de 101,6 mm (4 pulg) de diámetro y 203,2 mm (8 pulg) de altura.

Nota: El método B a causa de su mayor relación de altura y diámetro (2.00) brinda una mejor medida de la resistencia a la compresión simple desde el punto de vista técnico, ya que disminuye las condiciones complejas de esfuerzos que se presentan durante el aplastamiento de especímenes del método A.

Equipos

Máquina de compresión simple

Procedimiento

Aplíquese la carga continuamente y sin choques, ajústese la carga a una rata constante dentro de los límites de 140 ± 70 kPa/s (20 ± 10 lb./pulg²/s) de acuerdo con la resistencia del espécimen. Regístrese la carga total a la falla del espécimen de ensayo con aproximación de 40 N (10 lb).

3.3.15 Humedecimiento y Secado de Mezclas de Suelo - Cemento Compactadas

Según el MTC E 1104 basado en el ASTM D 559/D559M-15, el objetivo es determinar la pérdida de suelo-cemento, las variaciones de humedad y volumen que son producidos por el humedecimiento y secado. Asimismo, según la norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes para el diseño suelo – cemento mediante este ensayo se mide el parámetro de durabilidad.

Se menciona dos métodos A y B según la granulometría del suelo.

Equipos

- ✓ Cámara húmeda para almacenamiento de 7 días de los especímenes compactados
- ✓ Baño de agua para sumergir los especímenes compactados
- ✓ Cepillo de cerdas de alambre
- ✓ Dispositivos de medida para la medición de alturas y diámetros de especímenes
- ✓ Bandejas
- ✓ Horno calentador a altas temperaturas

Método A: Empleando Material que Pasa el Tamiz de 4.75 mm (no.4)

Preparación de Material para el Moldeo de Especímenes

- ✓ Preparar las muestras de suelo de acuerdo a las relaciones humedad-peso unitario
- ✓ Añadir al suelo la cantidad requerida del cemento
- ✓ Agregar el óptimo contenido de humedad a la mezcla suelo – cemento y con el pistón del Proctor estándar realizar la compactación.

Molde de Especímenes

- ✓ Formar un espécimen compactado de la mezcla suelo – cemento. Luego, extraer 100 gramos de la mezcla compactada y llevarla al horno $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 12 horas.
- ✓ Pesar el espécimen compactado y el molde; extraer el espécimen del molde.
- ✓ Determinar el diámetro y la altura promedio del espécimen y calcular su volumen
- ✓ Colocar los especímenes en la cámara húmeda y proteger del agua libre durante un periodo 7 días para cumplir con el proceso de curado.

Procedimiento

Luego de almacenar los especímenes en la cámara húmeda, sumergir los especímenes en agua a temperatura ambiente durante 5 horas. Después pesa y mida el cambio de volumen y humedad.

Colocar los especímenes en el horno calentador a $71 \pm 3^{\circ}\text{C}$ durante 43 horas y remover. Pesar y medir al espécimen. Los procedimientos descritos anteriormente constituyen un ciclo de 48 horas de humedecimiento y secado. Sumergir de nuevo los especímenes en agua y continuar el procedimiento durante 12 ciclos.

Método B. Empleando Material que pasa Tamiz de 19.00 mm (3/4")

Son los mismos procedimientos que el método A.

CAPITULO IV: Hipótesis y Variables

4.1 Hipótesis General.

- ✓ El uso de cemento afecta positivamente en la caracterización de la durabilidad y resistencia del suelo - cemento para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari – Llaylla, del distrito de Mazamari – provincia Satipo – departamento Junín.

4.2 Hipótesis Específicas.

- ✓ El punto más crítico de la carretera medido con el CBR se encuentra en el tramo del km 7.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari –Llaylla del distrito de Mazamari – provincia Satipo – departamento Junín.
- ✓ Mediante la estabilización del suelo con cemento se mejorará significativamente la densidad de los suelos para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari –Llaylla del distrito de Mazamari – provincia Satipo – departamento Junín.
- ✓ Es viable que la proporción racional del cemento se encuentre entre 3% y 12% para la durabilidad y resistencia del suelo estabilizado con cemento en el punto más crítico para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari-Llaylla, del distrito de Mazamari- provincia Satipo- departamento Junín.

4.3 Identificación de Variable.

Variables independientes: Cemento

Cemento: se empleó 3 %, 6 %, 9 % y 12 % de cemento, porque se quiere encontrar la proporción racional del cemento.

Variables dependientes: Suelo estabilizado

Suelos estabilizados: La resistencia y durabilidad del suelo depende de la estabilización con cemento.

4.4 Operacionalización de Variables.

En la tabla 9. Se detallan las variables dependientes, independientes señalando la dimensión, el indicador y medición.

Tabla 9.

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICES DE MEDICION	ESCALA
INDEPENDIENTE						
Cemento	Pasquel (1998). El cemento Portland es un aglomerante hidrófilo, es obtenido de la calcinación de rocas areniscas, arcillas y calizas, seguidamente se adquiere un polvo muy fino en contacto con el agua se endurece, adquiriendo propiedades resistentes y adherente.	Es el nivel donde se adicionará los porcentajes de cemento para mejorar su resistencia y durabilidad	Proporción de cemento	kg	(3%, 6%, 9% y 12%)	Cuantitativa continua
DEPENDIENTE						
Suelo estabilizado	(MTC, 2014), “La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos, naturales o sintéticos.	Es el nivel donde se estabiliza el suelo con cemento con las proporciones (3%, 6%, 9% y 12%) con la finalidad de obtener una mejor durabilidad, resistencia y adecuado diseño estructural.	Resistencia	Ensayo compresión simple Suelo - cemento	Kg/cm2	Cuantitativa continua
			Durabilidad	Ensayo humedecimiento y secado	Perdida peso mezcla (%)	Cuantitativa continua

Nota: se muestra en la tabla la Operacionalización de variables, Fuente elaboración propia, 2022.

4.5 Matriz de Consistencia.

En la tabla 10. Se detalla la matriz de consistencia de esta tesis donde se muestra los componentes del problema, objetivos, hipótesis, variables dependientes e independientes, tipo y diseño, población y muestra, etc.

“CARACTERIZACIÓN DE LA DURABILIDAD Y RESISTENCIA DEL SUELO – CEMENTO PARA EL TRAMO DEL KM 4.89 AL KM 8.89 DE LA CARRETERA MAZAMARI-LLAYLLA, DEL DISTRITO DE MAZAMARI-PROVINCIA SATIPO-DEPARTAMENTO JUNÍN”.

Tabla 10.

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	TIPO Y DISEÑO	POBLACIÓN Y MUESTRA
<p>Problema general:</p> <p>¿Cómo afecta el uso de cemento en la caracterización de la durabilidad y resistencia del suelo – cemento para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari – Llaylla, del distrito de Mazamari – provincia Satipo – departamento Junín?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Determinar el efecto del uso de cemento en la caracterización de la durabilidad y resistencia del suelo – cemento para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari – Llaylla, del distrito de Mazamari – provincia Satipo – departamento Junín.</p>	<p>Hipótesis principal:</p> <p>El uso de cemento afecta positivamente en la caracterización de la durabilidad y resistencia del suelo - cemento para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari – Llaylla, del distrito de Mazamari – provincia Satipo – departamento Junín.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE:</p> <p>Cemento</p> <p>Dimensiones</p> <p>Proporción de cemento</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Descriptivo - Correlacional</p> <p>Nivel de investigación:</p> <p>Descriptivo</p> <p>Enfoque metodológico a utilizar:</p> <p>Cuantitativo</p>	<p>Población: Se abarcará el tramo del km 4.89 al km 8.89 en la trayectoria de la carretera Mazamari – Llaylla del distrito de Mazamari – Satipo-Junín, el área de estudio para esta investigación tiene una extensión de 4 km.</p>
<p>Problemas específicos:</p> <p>1.¿Cuál es el punto más crítico de la carretera medido con el CBR para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari-Llaylla, del distrito de Mazamari-provincia Satipo-departamento Junín?</p> <p>2.¿Es posible mejorar la densidad de los suelos mediante la estabilización del suelo con cemento para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari- Llaylla, del distrito de Mazamari- provincia Satipo- departamento Junín?</p> <p>3. ¿Cuál es la proporción racional del cemento entre 3% y 12% para la durabilidad y resistencia del suelo estabilizado con cemento en el punto más crítico para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari-Llaylla, del distrito de Mazamari-provincia Satipo- departamento Junín?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>1. Determinar el punto más crítico de la carretera medido con el CBR para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari –Llaylla del distrito de Mazamari – provincia Satipo – departamento Junín.</p> <p>2.Determinar la densidad de los suelos mediante la estabilización del suelo con cemento para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari-Llaylla del distrito de Mazamari- provincia Satipo- departamento Junín.</p> <p>3. Determinar la proporción racional del cemento entre 3% y 12% para la durabilidad y resistencia del suelo estabilizado con cemento en el punto más crítico para el tramo km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari-Llaylla, del distrito de Mazamari- provincia Satipo – departamento Junín.</p>	<p>Hipótesis específicas:</p> <p>1.El punto más crítico de la carretera medido con el CBR se encuentra en el tramo del km 7.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari – Llaylla del distrito de Mazamari – provincia Satipo – departamento Junín.</p> <p>2. Mediante la estabilización del suelo con cemento se mejorará significativamente la densidad de los suelos para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari – Llaylla del distrito de Mazamari – provincia Satipo – departamento Junín.</p> <p>3. Es viable que la proporción racional del cemento se encuentre entre 3% y 12% para la durabilidad y resistencia del suelo estabilizado con cemento en el punto más crítico para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari-Llaylla, del distrito de Mazamari- provincia Satipo- departamento Junín.</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE:</p> <p>Suelo estabilizado</p> <p>Dimensiones</p> <p>Durabilidad</p> <p>Resistencia</p>	<p>Diseño investigación</p> <p>Experimental, Prospectivo y Longitudinal</p> <p>TÉCNICAS</p> <p>Observación De campo</p> <p>Observación de laboratorio.</p> <p>Observación individual.</p> <p>Tabla de registros.</p>	<p>Muestra: Las muestras extraídas serán cada 1km con profundidad de excavación 1.50m, diámetro 1.00m, deben ser lo más inalterada posible que sean de un tamaño suficiente para transportar al laboratorio sin que se desintegre.</p> <p>INSTRUMENTOS</p> <p>Ensayo granulométrico</p> <p>Sistema de clasificación de suelos AASHTO.</p> <p>Ensayo de proctor modificado</p> <p>Ensayo de califormia bearing ratio.</p> <p>Ensayo de compresión simple.</p> <p>Ensayo humedecimiento y secado</p>

Nota: Se muestra la Matriz de Consistencia, Fuente elaboración propia, 2022

CAPITULO V: Metodología

5.1 Tipo de Investigación.

El tipo de investigación es Descriptiva – Correlacional. En primer lugar, es descriptiva porque se recopilará información para caracterizar, describir, especificar cada una de las variables de estudio mediante ensayos en laboratorio. En segundo lugar, es correlacional, debido a que se busca encontrar la proporción racional del % de cemento para obtener una mejor resistencia y durabilidad.

Asimismo, el enfoque de investigación es cuantitativa porque el parámetro de resistencia y durabilidad del suelo estabilizado con cemento portland tipo I, será medido mediante valores numéricos obtenidos en el ensayo compresión simple y ensayo humedecimiento y secado.

5.2 Nivel de Investigación

El nivel de investigación es Descriptiva, porque los ensayos en laboratorio se desarrollarán mediante procedimientos aceptados, basándose en normas y manuales, cuantificando estos para la obtención de una mayor resistencia del suelo y una durabilidad aceptable mediante la estabilización del suelo con cemento.

5.3 Diseño de Investigación

El diseño de investigación, es Experimental, Prospectivo y Longitudinal, es de grado experimental, porque se busca encontrar la proporción racional del cemento mediante ensayos en laboratorio determinando la resistencia y durabilidad considerando como solución la inclusión de cierto porcentaje de cemento portland tipo 1, como un agente estabilizador de la mezcla a emplear. Es prospectivo – Longitudinal, porque se buscar incrementar su resistencia y durabilidad del suelo en el punto más crítico a través de la aplicación de las proporciones de cemento por medio de ensayos en laboratorio.

5.4 Descripción del Ámbito de la Investigación

Primero se realizó 5 calicatas para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari-Llaylla, segundo se transportó las muestras al laboratorio, después se hizo el ensayo granulométrico mediante el uso de los tamices encontrados en el laboratorio de suelos.

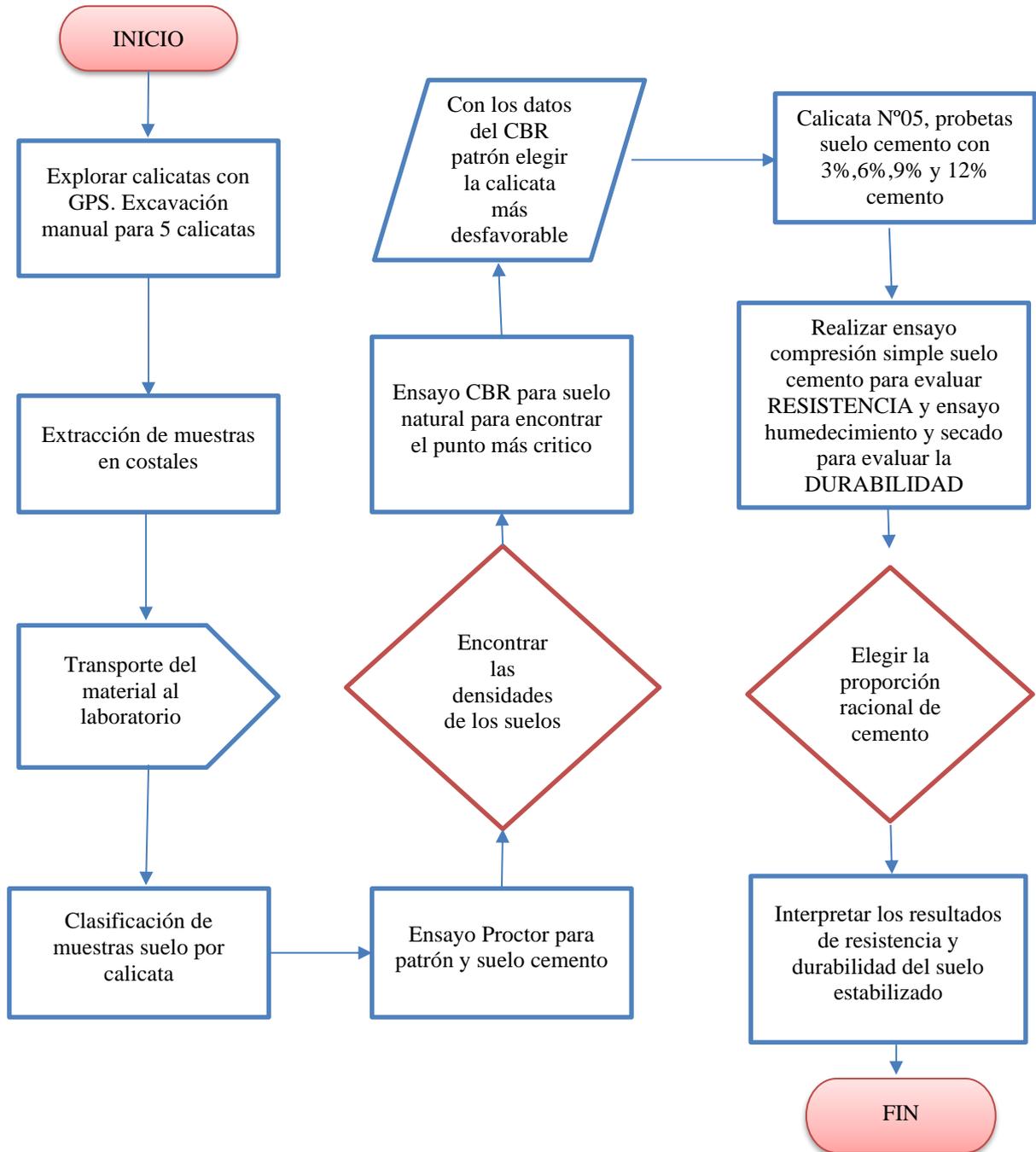
Después, se desarrolló el ensayo de Casagrande, limite líquido e índice de plasticidad, luego la clasificación de suelos mediante el sistema AASHTO y SUCS. Segundo, se desarrolló el ensayo de Proctor modificado de las cinco calicatas en su estado natural y adicionando los porcentajes de cemento (3%,6%,9% y 12%) para obtener los valores de densidad máxima y optimo contenido de humedad.

Tercero, se realizó el ensayo de CBR para el suelo natural que será de utilidad para la encontrar la calicata más crítica. Cuarto, se eligió la calicata con el resultado más bajo de %CBR; luego, se desarrolló el ensayo de compresión simple suelo cemento para la obtención de la resistencia (según MTC E 1103). Para la durabilidad, se desarrolló el ensayo humedecimiento y secado suelo cemento (Según MTC E 1104) en la calicata más crítica.

Finalmente, con los datos obtenidos se realizó el análisis estadístico mediante graficas de curvas para interpretar los valores de resistencia, durabilidad y la proporción racional del cemento.

Figura 15.

Proceso de la investigación



Nota: Se muestra en el flujograma el Proceso de la investigación, Fuente: Elaboración Propia ,2022

5.5 Unidad de Análisis.

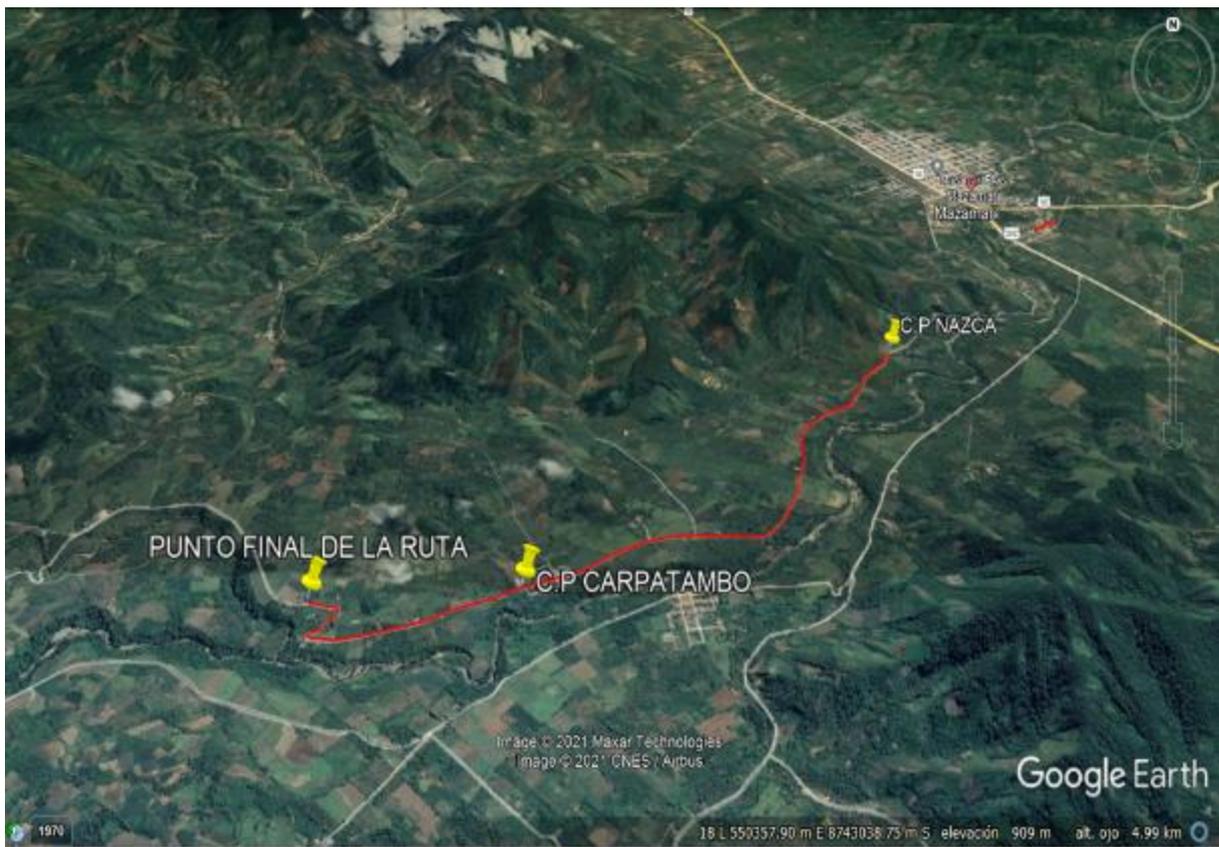
El suelo de la selva central, donde se tiene un clima tropical y sufre variaciones climáticas durante los cambios de estaciones al año.

5.6 Población de estudio.

Se abarcó la trayectoria de la carretera Mazamari – Llaylla en el distrito de Mazamari- Provincia Satipo– Departamento Junín, con una extensión de 13.50 km. **Se tomó como área de estudio una trayectoria de 4 km (Progresiva 4.89+000 al 8.89+000 km)**, donde el punto de inicio se sitúa en el C.P Nazca y el punto final a 1500 ml del C.P Carpatambo.

Figura 16.

Población de estudio



Nota: Se muestra Población de estudio, Fuente: Elaboración Propia ,2022

Tabla 11.

Ubicación en las progresivas de las calicatas

Descripción	Progresiva (km)	Norte	Este	Elevación (m.s.n.m)
C-1	4.89+000	8743907	549407	888.20
C-2	5.89+000	8742994	549062	918.20
C-3	6.89+000	8742718	548132	973.8
C-4	7.89+000	8742265	547247	1007.1
C-5	8.89+000	8742154	546555	1051.6

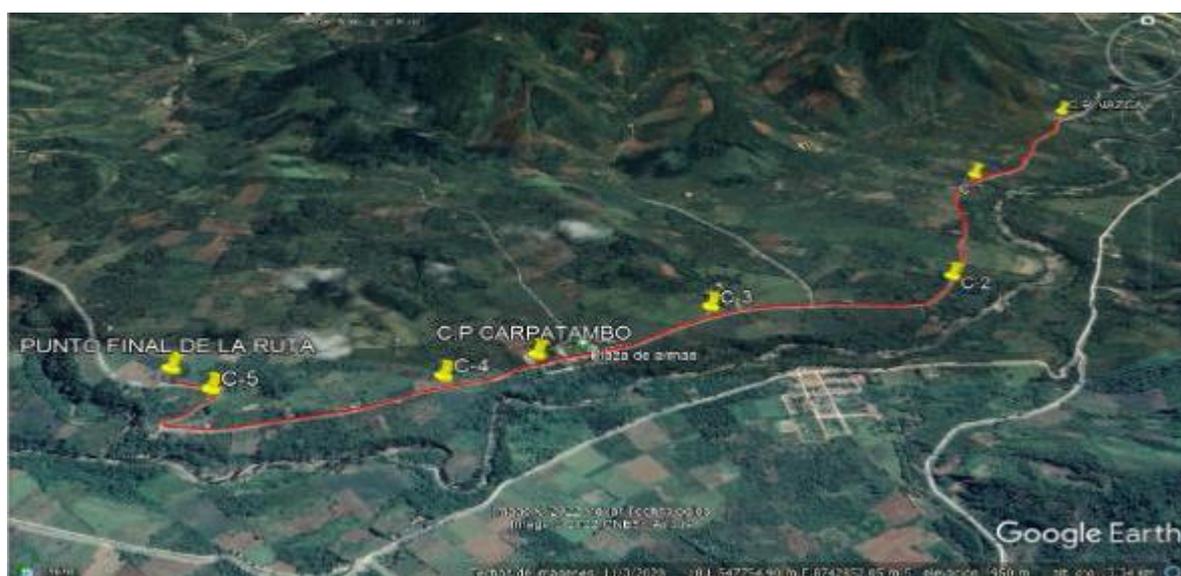
Nota: Se muestra la Ubicación en las progresivas de las calicatas, Fuente: Elaboración Propia ,2022

5.7 Tamaño de Muestra.

Primero, se revisó el manual de carreteras (2013), debido al bajo volumen de tráfico se optó por ejecutar las calicatas por cada kilómetro con profundidad de excavación de 1.50 m por 1.00m de ancho en forma alternada.

Figura 17.

Tamaño de muestra



Nota: Tamaño de muestra, Fuente: Elaboración Propia ,2022

5.8 Selección de Muestra.

El procedimiento usado para la selección de las muestras, tuvo como base los objetivos generales y específicos comprendidos en la presente investigación.

Se empezó con la exploración en campo alrededor de la carretera Mazamari- Llaylla, se eligió un trayecto de 4km (**Progresiva 4.89+000 al 8.89+000 km**), el más crítico y peor condición, después con ayuda del GPS se anotaron y delimitaron las coordenadas de los puntos de cada calicata luego se colocó un hito por cada calicata y se procedió con la excavación.

5.9 Técnicas de Recolección de Datos.

Para esta investigación, se utilizó diversas técnicas de recopilación de datos para poder recopilar información verídica y confiable, el proceso y las actividades se detallarán a continuación:

Observación

Se empleó la observación, para recopilar los datos de manera ordenada, se comenzó con la exploración de campo, cuya finalidad fue encontrar los puntos más críticos y lugares con patologías graves de la carretera no pavimentada Mazamari – Llaylla, se tomó como área de estudio un trayecto de 4km (**Progresiva 4.89+000 al 8.89+000 km**), en donde se ubicó 5 calicatas a cada kilómetro.

A continuación, se detallará el procedimiento a seguir para la recopilación de datos:

1. Luego de la exploración en campo se utilizó el GPS para marcar y colocar un hito para cada calicata, asimismo se anotó sus coordenadas geográficas.
2. Después se continuó con la excavación manual de las calicatas se usó las siguientes herramientas: pico, pala, barreta, flexómetro, señales de seguridad, cinta de embalaje, bolsas de plástico y costales para la extracción de muestra suelo.
3. Se extrajo las siguientes cantidades de suelo

- ✓ Para la clasificación del suelo (NTP 339.128): Se extrajo 30 kg de suelos arcillo por cada calicata
- ✓ Ensayo Proctor modificado (MTC E 115): se sacó 30 kg por cada calicata
- ✓ Ensayo CBR (MTC E 132): Se sustrajo 30 kg por calicata.
- ✓ Ensayo compresión simple suelo cemento (MTC E 1103): se extrajo 30 kg de la calicata N°5, debido a que se observó que el suelo tiene mayor cantidad de suelos finos, mayor adhesión y menor cantidad de arenas.
- ✓ Ensayo humedecimiento y secado (MTC E 1104): Se sustrajo 30 kg de suelo de la calicata N°05.

4. Una vez extraídos las muestras, se transportó a los laboratorios de suelos ubicado en la ciudad de Huancayo y Lima.

Para esta investigación se eligió usar el 3, 6, 9 y 12 % de cemento porque en muchas tesis y según la norma CE020 relacionadas a la estabilización de suelo con cemento se usan esos porcentajes y la relación óptima entre el suelo y agente estabilizador se encuentra entre esos valores y son los adecuados.

Trabajo en Laboratorio

Los ensayos se realizaron en la ciudad de Huancayo en el Laboratorio de Mecánica de suelos, concreto y pavimentos Centauros Ingeniero S.A.C; asimismo, se encuentra acreditado por el ISO 9001: 2015 y por la INACAL. También se realizó ensayos en el laboratorio de Ingeniería Geotécnica y Control de Calidad S.AC.

A continuación, se detalla los ensayos realizados en laboratorio:

Tabla 12.*Trabajos en laboratorio*

ITEM	DESCRIPCION	NORMA	UND	Nº VECES	CANTIDAD	TOTAL, ENSAYO
1.00	Clasificación completa del suelo incluye					
	Granulometría	NTP 339.128				
	Límite Líquido	NTP 339.129				
	Límite Plástico	NTP 339.129	UND	1.00	5.00	5.00
	Contenido Humedad	NTP 339.127				
	Clasificación SUCS	NTP 339.134				
	Clasificación AASHTO	NTP 339.135				
2.00	Proctor modificado patrón (suelo natural)	MTC E 115	UND	1.00	5.00	5.00
3.00	CBR patrón (Suelo natural)	MTC E 132	UND	1.00	5.00	5.00
4.00	Proctor modificado adicionado cemento al 3%,6%,9% y 12%	MTC E 115	UND	4.00	5.00	20.00
5.00	Prueba humedad – densidad para calicata Nº05 adicionando adicionado cemento al 3%,6%,9% y 12%	MTC E 1102	UND	1.00	4.00	4.00
6.00	Ensayo compresión no confinada calicata Nº05	ASTM D 2166	UND	1.00	1.00	1.00
7.00	Ensayo compresión simple suelo - cemento	MTC E 1103	UND	1.00	8.00	8.00
8.00	Ensayo humedecimiento y secado	MTC E 1104	UND	1.00	2.00	2.00

Nota: Se muestra Trabajos en laboratorio, Fuente: Elaboración Propia ,2022

Se ejecutaron las siguientes acciones:

1. Se comenzó con el secado de las muestras de suelo a temperatura de 60°C para los suelos de cada calicata, posteriormente se realizó el tamizado para el ensayo granulométrico, copa de Casagrande, límite líquido y índice de plasticidad del suelo extraído en su estado natural.

2. Se desarrolló la clasificación AASHTO y SUCS de la muestra de suelo extraídos en las calicatas.

3. Se inició con el ensayo de Proctor modificado y ensayo de CBR de las muestras de suelo en su estado natural para encontrar la calicata más crítica.

4. Se adiciono la proporción de cemento 3%,6%,9% y 12% a la muestra del suelo y se realizó el ensayo de Proctor modificado en las cinco calicatas y para la calicata N°05 se adiciono la prueba humedad – densidad similar al Proctor estándar para obtener la optimo contenido de humedad. Finalmente se procedió con el ensayo de compresión simple suelo cemento en la calicata N°05 para evaluar su resistencia y ensayos de humedecimiento y secado para evaluar su durabilidad.

5.10 Análisis e Interpretación de la Información

1. Se estimó el tipo de suelo encontrado en las calicatas de la trayectoria de la carretera Mazamari – Llaylla empleando el Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO y SUCS.

2. Se realizó la comparación del suelo en su estado natural y suelo adicionado con cemento respecto ensayo Proctor modificado.

3. Se estimó la calicata más crítica mediante el ensayo CBR para la subrasante, paralelamente para la calicata más crítica se desarrolló Prueba humedad- densidad similar al Proctor estándar aplicando al suelo más 3%, 6% y 9 % de cemento, con la finalidad de la obtención del óptimo contenido de humedad, seguidamente se desarrollaron probetas de suelo

cemento y se curó por 7 días, luego se desarrolló el ensayo de compresión simple (MTC E 1103) para obtener el parámetro resistencia, se continuo con el ensayo de humedecimiento y secado (MTC E 1104) para la proporción de cemento que sobrepaso a la resistencia de 18 kg/cm² según norma CE020, con la finalidad de evaluar su durabilidad.

4. Finalmente se realizó la sectorización de gráficos mediante el excel para el ensayo compresión simple y ensayo humedecimiento y secado suelo cemento para encontrar la proporción racional del cemento entre 3% y 12%.

CAPITULO VI: Procedimiento y Método de Análisis

6.1 Ubicación Geográfica

El tramo de la carretera Mazamari – Llaylla, tiene una extensión de 13.5km se encuentra ubicado en la selva central exactamente en el departamento de Junín-provincia Satipo- distrito Mazamari a 900 msnm en promedio, tiene un clima tropical con temperaturas 32.5°C-34.2°C las precipitaciones pluviales son 1652 mm en promedio y son muy elevadas en los meses de Diciembre – Marzo.

Para fines de la presente investigación, se tomó un trayecto de **4km progresiva 4.89+000 al 8.89+000 km**), la zona más crítica se consideró cinco (05) calicatas, los cuales se describen a continuación:

CALICATA N. 01

Posee las siguientes características:

Tabla 13.

Ubicación geográfica calicata 1

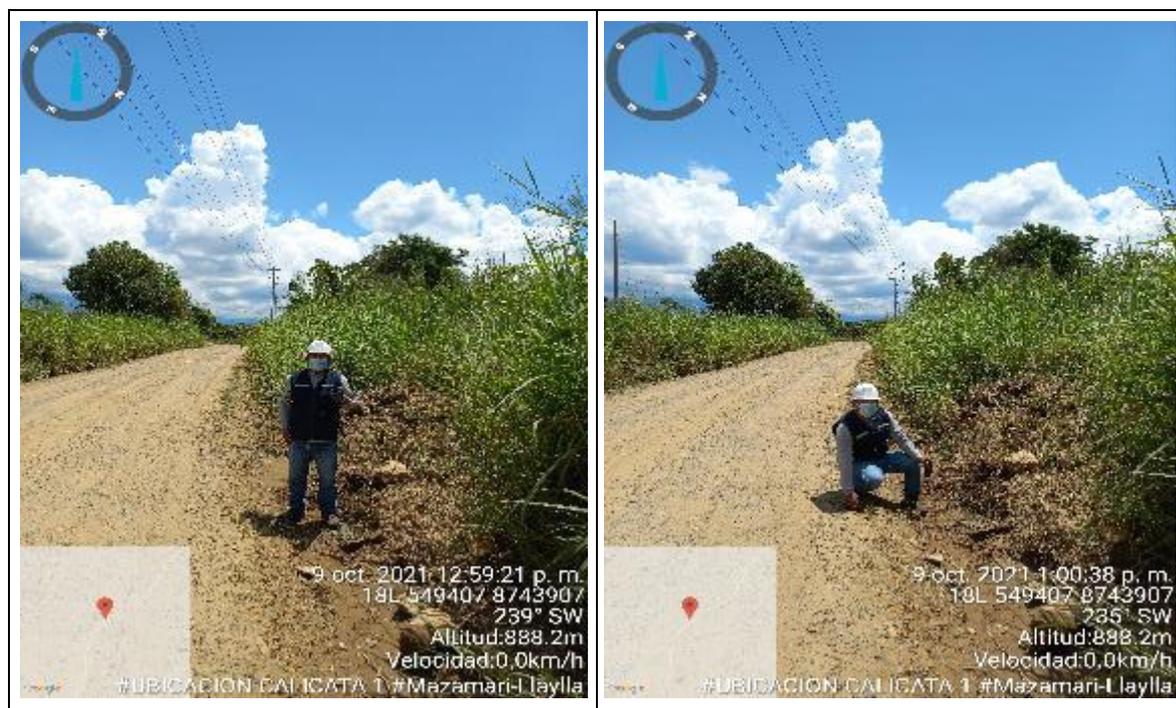
ZONA	COORDENADAS UTM		ELEVACION
	NORTE (m)	ESTE (m)	(m.s.n.m)
C-1	8743907	549407	888.2

Nota: Se muestra Ubicación geográfica calicata 1, Fuente: Elaboración Propia ,2022.

Ubicación de la investigación:

Figura 18.

Ubicación geográfica calicata 1



Nota: Ubicación geográfica calicata 1, Fuente: Elaboración Propia ,2022

CALICATA N° 02

Posee las siguientes características:

Tabla 14.

Ubicación geográfica calicata 2

ZONA	COORDENADAS UTM		ELEVACION
	NORTE (m)	ESTE (m)	(m.s.n.m)
C-2	8742994	549062	918.2

Nota: Ubicación geográfica calicata 2, Fuente: Elaboración Propia ,2022.

Ubicación de la investigación:

Figura 19.

Ubicación geográfica calicata 2



Nota: Ubicación geográfica calicata 2, Fuente: Elaboración Propia ,2022

CALICATA N.º 03

Posee las siguientes características:

Tabla 15.

Ubicación geográfica calicata 3

ZONA	COORDENADAS UTM		ELEVACION
	NORTE (m)	ESTE (m)	(m.s.n.m)
C-3	8742718	548132	973.8

Nota: Ubicación geográfica calicata 3, Fuente: Elaboración Propia ,2022.

Ubicación de la investigación

Figura 20.

Ubicación geográfica calicata 3



Nota: Ubicación geográfica calicata 3, Fuente: Elaboración Propia ,2022

CALICATA N.º 04

Posee las siguientes características:

Tabla 16.

Ubicación geográfica calicata 4

ZONA	COORDENADAS UTM		ELEVACION (m.s.n.m)
	NORTE (m)	ESTE (m)	
C-4	8742265	547247	1007.1

Nota: Ubicación geográfica calicata 4, Fuente: Elaboración Propia ,2022.

Ubicación de la investigación:

Figura 21.

Ubicación geográfica calicata 4



Nota: Ubicación geográfica calicata 4, Fuente: Elaboración Propia ,2022

CALICATA N.º 05

Posee las siguientes características:

Tabla 17.

Ubicación geográfica calicata 5

ZONA	COORDENADAS UTM		ELEVACION
	NORTE (m)	ESTE (m)	(m.s.n.m)
C-5	8742154	546555	1051.6

Nota: Ubicación geográfica calicata 5, Fuente: Elaboración Propia ,2022.

Ubicación de la investigación:

Figura 22.

Ubicación geográfica calicata 5



Nota: Ubicación geográfica calicata 5, Fuente: Elaboración Propia ,2022

6.2 Trazo y Replanteo

Una vez ejecutado la ubicación de las calicatas se continuó con el trazo y replanteo de las calicatas.

6.3 Excavación Manual de Calicatas

La excavación se desarrolló para cinco calicatas, fue de manera alternada a cada kilómetro, las dimensiones de las calicatas son 1.00 m de ancho con 1.50m de profundidad, se trabajó de forma manual se contó con picos, lampas y barretas. Los detalles se adjuntan en el **ANEXO B: TRABAJOS GEOTECNICOS**

6.4 Trabajo en Laboratorio

6.4.1 Clasificación de Suelos

Se desarrolló la clasificación de los suelos de cada una de las calicatas según las siguientes normas técnicas peruana:

Tabla 18.*Preparación de muestra para granulometría*

PREPARACION DE LA MUESTRA PARA GRANULOMETRIA	
Diámetro Nominal Máximo de las partículas por el tamiz 2.00 mm (N°10)	Masa Aproximada Retenida
76.2 mm (3pulg)	5000
50.8 mm (2pulg)	4000
38.1 mm (1 1/2pulg)	3000
25.4 mm (1pulg)	2000
19.0 mm (3/4 pulg)	1000
9.5 mm (3/8pulg)	500

Nota: Preparación de muestra para granulometría, Fuente: Fuente: NTP 339.128

Tabla 19.*Preparación de muestra para granulometría*

ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS NTP 339.129	
LIMITE LIQUIDO	
Cantidad de muestra: 150g a 200 g que pasa el tamiz N°40(425um)	
Velocidad: 1.9-2.1 golpes por minuto	
Golpes Requeridos:	15 a 25 golpes
	20 a 30 golpes
	25 a 35 golpes
LIMITE PLASTICO	
Tomar una porción de 20 g de suelo del material preparado para LL.	
Cantidad de muestra para formar el hilo de 3.2mm: 1.5g a 2.0g	

Nota: Preparación de muestra para granulometría, Fuente: NTP 339.129 Pag.17 de 26

El procedimiento del ensayo de clasificación de suelos se detalla en **ANEXO C.1:**

CLASIFICACION DE SUELOS.

6.4.2 Ensayo Proctor modificado en Laboratorio

El primer lugar, se inició con el secado de las muestras de suelo de las cinco calicatas a una temperatura en promedio de 60 °C, luego se procedió al tamizado para ello se utilizó los tamices de 3/4, 3/8 y N°04, los tamices nos sirven para seleccionar el procedimiento del ensayo Proctor modificado.

Tabla 20.

Método de ensayo para la compactación del suelo

PROCEDIMIENTO	A	B	C
MOLDE	101,6mm (4pulg) de diámetro	101,6mm (4pulg) de diámetro	152,4mm(6pulg) de diámetro
MATERIAL	Pasa la malla N°4(4.75mm)	Pasa la malla 3/8pulg(9.5mm)	Pasa la malla 3/4 pulg (19.0mm)
CAPAS	5	5	5
GOLPES	25	25	56
USO	Se utiliza si la malla N°04 (4.75mm) retiene el 20% o menos del peso del material	Se utiliza, si el tamiz N°4 (4.75mm) retiene más del 20% en peso del material y el tamiz 3/8 pulg (9.5mm) retiene el 20% o menos en peso de material.	Se deberá utilizar si el tamiz 3/8 pulg(9.5mm) retiene más del 20% en peso del material y el tamiz 3/4pulg (19.0mm) retiene menos del 30% en peso del material
OTROS USOS	Si no se indicase ningún procedimiento, los materiales que tengan estos requisitos de gradación, deberán ser ensayados de acuerdo a los procedimientos B o C	Si no indicase ningún procedimiento, los materiales que tengan estos requisitos de gradación, deberán ser ensayos de acuerdo al procedimiento C.	---

Nota: Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada, Fuente: NTP 339.141.

Luego del tamizado se eligió el **procedimiento A**, porque la malla N°04 retuvo menos del 20% del peso del material.

Relación aproximada del Proctor modificado a Proctor estándar

Basado en la experiencia de diversos ensayos para el Proctor estándar que tiene una energía de compactación 12320 lb.pie/pie³ y el Proctor modificado con energía de compactación 56125 lb.pie/pie³.

$$\delta_{max_{P,E}} = 0.92 \delta_{max_{P,M}}$$

δ_{max} : *Maxima densidad seca*

$$W_{opt_{P,E}} > W_{opt_{P,M}} \text{ entre } (1\% - 1.5\%)$$

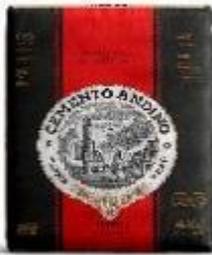
W_{opt} : *Optimo contenido de humedad*

Uso del Aditivo

Respeto al aditivo se utilizó el cemento portland tipo I, nombre comercial cemento Andino porque este material es empleado como uso general en construcciones de envergadura.

Tabla 21.

Uso del aditivo

Descripción	
<p>Usado en construcciones de gran envergadura es el cemento Portland tipo I de 42.5 kilos. Muy requerido por los maestros de construcción por su desarrollo en un adecuado tiempo de fraguado y uno menor en el desencofrado.</p>	

Nota: Se muestra la descripción Uso del aditivo, Fuente: Cemento Andino

6.4.2.1 Ensayo Proctor modificado calicata N°01

El procedimiento y los detalles se adjuntan en el *ANEXO C.2: ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CALICATA N°01*

6.4.2.2 Ensayo Proctor modificado calicata N°02

El procedimiento y los detalles se adjuntan en el *ANEXO C.3: ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CALICATA N°02*

6.4.2.3 Ensayo Proctor modificado calicata N°03

El procedimiento y los detalles se adjuntan en el *ANEXO C.4: ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CALICATA N°03*

6.4.2.4 Ensayo Proctor modificado calicata N°04

El procedimiento y los detalles se adjuntan en el *ANEXO C.5: ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CALICATA N°04*

6.4.2.5 Ensayo Proctor modificado calicata N°05

El procedimiento y los detalles se adjuntan en el *ANEXO C.6: ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CALICATA N°05*

6.4.3 Ensayo CBR en Laboratorio

Posteriormente realizado el ensayo Proctor modificado, se inició con el procesamiento en laboratorio y se obtuvieron las máximas densidades secas MDS (g/cm³) y el óptimo contenido de humedad (%) OCH de las cinco calicatas.

El ensayo CBR se desarrolló según el MTC E 132, se trabajó con el material seco pasante a la malla N°04, ya que el procedimiento para el ensayo Proctor fue el método A, además los suelos extraídos fueron granulares y finos. La norma menciona para el ensayo CBR, se debe trabajar con los siguientes moldes: Molde I (12 golpes/5 capas), molde II (26 golpes/5 capas) y molde III (55 golpes/5 capas), también el diámetro de los moldes fue 6 pulgadas con 7 pulgadas de altura con aproximación. Por otra parte, las penetraciones más utilizadas son a 0.1 pulg y 0.2 pulg

Tabla 22.

Uso de las penetraciones del CBR

Penetración	Utilidad
0.1 Pulg	Se usa en el diseño de pavimentos para la base granular, sub base granular y subrasante.
0.2 Pulg	Control, compactación en obra de pavimentos al 95%MDS o 100%MDS

Nota: Uso de las penetraciones del CBR, Fuente: Elaboración propia ,2022

Máquina de Penetración

En este presente trabajo de investigación se utilizó una prensa semiautomático digital equipo con el que cuenta el laboratorio Centauros Ingenieros S.A.C, el equipo proviene de industrias PINZUAR

Tabla 23.

Máquina, Digital para Ensayos Marshall y CBR PS-25

EQUIPO	DESCRIPCION
 <p data-bbox="204 1211 802 1279">MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DIGITAL PARA ENSAYOS MARSHALL Y CBR</p> <p data-bbox="405 1301 603 1335">Modelo: PS-25</p>	<p data-bbox="831 421 1415 640">Este equipo tiene un traductor de forma(S) lo cual al momento de registrar las penetraciones no necesita corrección del CBR a diferencia de otros equipos que tienen un traductor circular lo cual necesitan corrección en las penetraciones del CBR</p> <p data-bbox="831 658 1415 1240">La Máquina Digital para Ensayos Marshall y CBR PS-25 ha sido diseñada pensando en la exactitud, rapidez y el registro fidedigno de los resultados obtenidos. Cuenta con un mecanismo de operación manual por medio de manivela (Biela) para los ensayos de CBR y suelo en cemento, y operación eléctrica para el ensayo Marshall, con medición digital de fuerza, desplazamiento (penetración, deformación o flujo) y velocidad de avance. Asimismo, registra la deformación y la carga máxima (pico) en 12 puntos de deformación vs. Fuerza en ensayo CBR, e incluye un seguro electro-mecánico que impide la operación eléctrica cuando está puesta la manivela (biela).</p>
ESPECIFICACIONES	
<p data-bbox="204 1440 895 1473">Rango de fuerza (Estabilidad): 0 a 50 kN compresión</p> <p data-bbox="204 1491 852 1525">Clase de exactitud: 0,5 % desde el 10 % del rango</p> <p data-bbox="204 1543 1038 1576">Celdas de carga: 1 celda tipo “S” compresión Rango: 0 a 50 kN</p> <p data-bbox="204 1594 1075 1628">Rango de desplazamiento (penetración, elongación y flujo): 50 mm</p> <p data-bbox="204 1646 1015 1680">Exactitud de la medición de desplazamiento: 0,1 % ± 0,05 mm</p> <p data-bbox="204 1697 1299 1731">Velocidad de desplazamiento con operación eléctrica para ensayo Marshall 50,8 mm</p> <p data-bbox="204 1749 762 1783">Operación: 110 VAC (Opcional 220 VAC)</p>	

Nota: Se muestra la Maquina, Digital para Ensayos Marshall y CBR PS-25, Fuente: PINZUAR

6.4.3.1 Ensayo CBR Calicata N°01

El procedimiento y los detalles se adjuntan en el *ANEXO C.7: ENSAYO CBR*

CALICATA N°01

6.4.3.2 Ensayo CBR Calicata N.º 02

El procedimiento y los detalles se adjuntan en el *ANEXO C.8: ENSAYO CBR*

CALICATA N°02.

6.4.3.3 Ensayo CBR Calicata N°03

El procedimiento y los detalles se adjuntan en el *ANEXO C.9: ENSAYO CBR*

CALICATA N°03.

6.4.3.4 Ensayo CBR Calicata N°04

El procedimiento y los detalles se adjuntan en el *ANEXO C.10: ENSAYO CBR*

CALICATA N°04.

6.4.3.5 Ensayo CBR Calicata N° 05

El procedimiento y los detalles se adjuntan en el *ANEXO C.11: ENSAYO CBR*

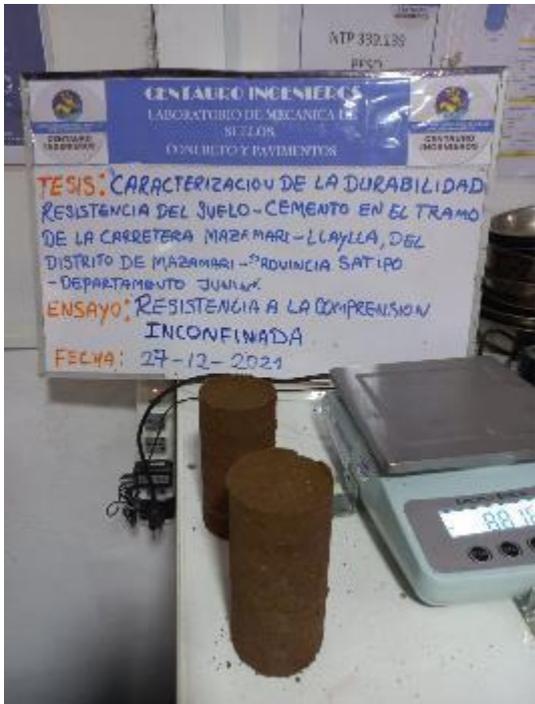
CALICATA N°05.

6.4.4 Desarrollo Ensayo Comprensión no Confinada

En primer lugar, este ensayo se realizó solo para la calicata N°05, ya que según los ensayos CBR fue la calicata más crítica con bajo porcentaje de resistencia; asimismo, según el ensayo granulométrico tiene una clasificación de regular a deficiente. Este ensayo se desarrolló con la finalidad de obtener la resistencia del suelo en su estado natural medido en kg/cm². Asimismo, los moldes tienen una relación de H/D igual a 2.

Tabla 24.

Máquina Compresión no confinada

EQUIPO	DESCRIPCION ENSAYO
	
<p>La máquina para ensayo de compresión inconfiada digital es un equipo diseñado para aplicar cargas manualmente, mediante una biela acoplada a un dispositivo de engranajes situados en la base de la máquina.</p>	<p>Colocar los moldes a la máquina de compresión luego centrarlo la muestra sobre la base circular seguidamente aplicar la carga de forma manual, gravar las cargas que describe el equipo digital. Finalmente anotar la carga máxima registrada.</p>
<p>El sistema de medición e indicación digital de fuerza permite ver la carga y el esfuerzo aplicados durante el ensayo. La carga máxima (pico) es memorizada y se muestra al finalizar el ensayo.</p>	
<p>Rango de medición de fuerza: 2,5 kN Opcional: 5 KN.</p>	

Nota: Se muestra la Máquina Compresión no confinada, Fuente PINZUAR

6.4.5 Resistencia de Probetas Suelo –Cemento

Se trabajó con las muestras de suelo de la calicata N°05, porque el suelo tuvo baja resistencia de CBR en su estado natural y es el más crítico. Respecto a la proporción del

cemento se trabajó con 3%, 6%, 9% y 12% de cemento con la finalidad de encontrar la proporción racional, se preparó las muestras de suelo cemento adicionando el óptimo contenido de humedad que corresponde a la prueba humedad- densidad.

Preparación de Probetas Suelo-Cemento

Se preparó 8 moldes según el MTC E 1101 se eligió el Método B. Asimismo el MTC E 1103 recomienda el método B ya que los resultados obtenidos del ensayo compresión simple son más exactos. Este procedimiento emplea un cilindro de ensayo de 101,6 mm (4,0") de diámetro y de 198,4 mm (8") de altura. La relación de la altura al diámetro es 2.

Proceso de Elaboración Probetas

- ✓ Secar las muestras a 60°C luego realizar el tamizado por la malla N.º 04, utilizar las muestras pasantes al tamiz Nº04
- ✓ Limpiar los moldes de 4pulg x 8 pulg adicionar el agente desmoldante
- ✓ En una bandeja se mezcló 3000 gramos de suelo seco más los pesos de (3%, 6%,9% y 12% de 3000g) de cemento se adiciono la cantidad agua requerida de acuerdo a la humedad optima de Prueba humedad- densidad similar al Proctor estándar.
- ✓ Mezclar la muestra uniformemente hasta que forme terrones y este homogéneo.
- ✓ Empotrar el molde sobre el piso verter la mezcla homogénea sobre el molde y realizar la compactación con el pistón Proctor estándar 25 golpes/3 capas, paralelamente golpear a los contados de molde.
- ✓ De la muestra sobrante en la bandeja extraer mínimo 100 gramos de suelo cemento vaciar en una tara pesarlo y colocarlo al horno.
- ✓ En total se elaboraron 8 especímenes se inició con el curado por 7 días consecutivos en una cámara húmeda.

Figura 23.

Especímenes suelo cemento calicata N°05



Nota: Se muestra Especímenes suelo cemento calicata N°05, Fuente: Elaboración propia ,2022

- ✓ Para evaluar la resistencia de los 8 moldes se realizó el ensayo de compresión simple con el objetivo de obtener los resultados en kg/cm².

Figura 24.

Ensayo compresión simple de probetas suelo cemento



Nota: Ensayo compresión simple de probetas suelo cemento, Fuente: Elaboración propia ,2022

6.4.6 Humedecimiento y Secado de Mezclas Suelo Cemento Compactadas

Basado en la norma ASTM D 559, en primer lugar, se evaluó la resistencia del suelo cemento según la norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes el valor mínimo es 18kg/cm² para suelos estabilizados con cemento, debido a ello se apreció con 3% de cemento, se cumple el parámetro, en tal sentido se evaluó la durabilidad para la calicata N°05 para suelo con 3% de cemento siendo el más crítico, ya que los resultados fueron los más bajos.

Procedimiento

1. Se trabajo con muestras secas se adiciono 3% de cemento del peso de 3000g de suelo para cada molde, paralelamente se agregó agua (% OCH x 3000g suelo) que corresponde al porcentaje del óptimo contenido humedad que es obtenido en la Prueba humedad – densidad similar al Proctor estándar.

2. Se elaboro 2 moldes de 4pulg x 8 pulg, luego se inició con la compactación con el martillo del 5.5 lbs del Proctor estándar 25 golpes/ 3 capas.

3. Se inicio con el curado para los 2 moldes en una cámara húmeda por 7 días, según menciona la norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes.

4. Luego se inició con el ensayo humedecimiento y secado basado en la norma ASTM D 559, se humedeció las muestras en una poza de agua por 5 horas, luego se procedió a llevarlo al horno por 42 horas y 1 hora cepillado, un ciclo constituye 48 horas, para este ensayo se desarrollaron 12 ciclos por cada ciclo se controló su pérdida de volumen de las muestras.

Figura 25.

Ensayo humedecimiento y secado



Nota: Se muestra Ensayo humedecimiento y secado, Fuente: Elaboración propia ,2022

6.5 Método de Análisis

6.5.1 Análisis de la Clasificación de Suelos

Para esta presente investigación en la etapa de procesamiento de datos, se utilizó hojas de cálculo de Excel, tablas y formatos. El detalle de resultados *Se adjunta en el anexo "D.1"*, se siguiendo las siguientes normas:

NTP 339.128: Método de ensayo para el análisis granulométrico

NTP 339.129: Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

NTP 339 134: Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (Sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)

NTP 339.135: Método para la clasificación de suelos para usos de vías de transporte.

A continuación, se muestran la clasificación de suelos para las calicatas:

Tabla 25.*Clasificación de suelos para la calicata N°01*

CALICATA N° 01 UBICADO EN LA PROGRESIVA DEL KM 4.89	CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA	FINO	33.41%
		ARENA	63.75%
		GRAVA	2.84%
	LÍMITES DE CONSISTENCIA	LÍMITE LÍQUIDO	33.00
		LÍMITE PLÁSTICO	25.00
		ÍNDICE PLÁSTICO	8.00
	CLASIFICACIÓN SUCS	SM	Arena Limosa
	CLASIFICACIÓN AASHTO	CLASIFICACIÓN DEL GRUPO	A-2-4 (0)
		TIPOS USUALES DE MATERIALES	Grava y arena limosa
		CLASIFICACIÓN GENERAL COMO SUBRASANTE	Excelente a buena

Nota: Se muestra la Clasificación de suelos para la calicata N°01, Fuente: Elaboración propia ,2022

Tabla 26.*Clasificación de suelos para la calicata N°02*

CALICATA N° 02 UBICADO EN LA PROGRESIVA DEL KM 5.89	CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA	FINO	33.96%
		ARENA	48.92%
		GRAVA	17.12%
	LÍMITES DE CONSISTENCIA	LÍMITE LÍQUIDO	38.00
		LÍMITE PLÁSTICO	25.00
		ÍNDICE PLÁSTICO	12.00
	CLASIFICACIÓN SUCS	SM	Arena Limosa con grava
	CLASIFICACIÓN AASHTO	CLASIFICACIÓN DEL GRUPO	A-2-6(0)
		TIPOS USUALES DE MATERIALES	Grava y arena limosa o arcillosa
		CLASIFICACIÓN GENERAL COMO SUBRASANTE	Excelente a buena

Nota: Se muestra la Clasificación de suelos para la calicata N°02, Fuente: Elaboración propia ,2022

Tabla 27.*Clasificación de suelos para la calicata N°03*

CALICATA N° 03 UBICADO EN LA PROGRESIVA DEL KM 6.89	CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA	FINO	33.30%
		ARENA	53.13%
		GRAVA	13.57%
	LÍMITES DE CONSISTENCIA	LÍMITE LÍQUIDO	38.00
		LÍMITE PLÁSTICO	26.00
		ÍNDICE PLÁSTICO	12.00
	CLASIFICACIÓN SUCS	SM	Arena Limosa
		CLASIFICACIÓN DEL GRUPO	A-2-6(0)
		TIPOS USUALES DE MATERIALES	Grava y arena limosa o arcillosa
		CLASIFICACIÓN GENERAL COMO SUBRASANTE	Excelente a buena

Nota: Se muestra la Clasificación de suelos para la calicata N°03, Fuente: Elaboración propia ,2022

Tabla 28.*Clasificación de suelos para la calicata N°04*

CALICATA N° 04 UBICADO EN LA PROGRESIVA DEL KM 7.89	CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA	FINO	36.15%
		ARENA	57.52%
		GRAVA	6.33%
	LÍMITES DE CONSISTENCIA	LÍMITE LÍQUIDO	34.00
		LÍMITE PLÁSTICO	25.00
		ÍNDICE PLÁSTICO	9.00
	CLASIFICACIÓN SUCS	SM	Arena Limosa
		CLASIFICACIÓN DEL GRUPO	A-4(0)
		TIPOS USUALES DE MATERIALES	suelos limosos
		CLASIFICACIÓN GENERAL COMO SUBRASANTE	Regular a deficiente

Nota: Se muestra Clasificación de suelos para la calicata N°04, Fuente: Elaboración propia ,2022

Tabla 29.*Clasificación de suelos para la calicata N°05*

CALICATA N° 05 UBICADO EN LA PROGRESIVA DEL KM 8.89	CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA	FINO	46.65%
		ARENA	46.39%
		GRAVA	6.96%
	LÍMITES DE CONSISTENCIA	LÍMITE LÍQUIDO	46.00
		LÍMITE PLÁSTICO	29.00
		ÍNDICE PLÁSTICO	17.00
	CLASIFICACIÓN SUCS	SM	Arena Limosa
		CLASIFICACIÓN DEL GRUPO	A-7-6(6)
	CLASIFICACIÓN AASHTO	TIPOS USUALES DE MATERIALES	suelos Arcillosos
		CLASIFICACIÓN GENERAL COMO SUBRASANTE	Regular a deficiente

Nota: Se muestra la Clasificación de suelos para la calicata N°05, Fuente: Elaboración propia ,2022.

6.5.2 Análisis del Ensayo Proctor modificado

En esta etapa, el procesamiento de datos se trabajó con hojas de cálculo del Excel. El detalle de los resultados se *adjunta en los anexos del D.2 al D.26*. Se trabajó según lo establecido en el formato de ensayo Proctor modificado método (A) NTP 339. 141.El análisis se desarrolló para las cinco calicatas.

Tabla 30.*Análisis del ensayo Proctor modificado para Calicata N°01*

C-1	N° de muestra	1	2	3	4
Suelo sin adición	Densidad seca (g/cm ³)	1.839	1.935	1.924	1.796
	Contenido de humedad (%)	8.380	11.539	14.718	17.839
suelo + 3.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.723	1.917	1.968	1.864
	Contenido de humedad (%)	7.490	9.781	12.747	15.618
suelo + 6.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.866	1.965	1.926	1.811
	Contenido de humedad (%)	8.102	11.188	14.447	17.633
suelo + 9.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.872	1.954	1.934	1.824
	Contenido de humedad (%)	8.168	10.757	14.029	16.749
suelo + 12.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.912	1.955	1.865	1.757
	Contenido de humedad (%)	10.309	13.085	16.067	18.010

Nota: Se incluye el ensayo Proctor modificado para Calicata N°01, Fuente: Elaboración propia ,2022

Tabla 31.*Análisis del ensayo Proctor modificado para Calicata N°02*

C-2	N° de muestra	1	2	3	4
Suelo sin adición	Densidad seca (g/cm ³)	1.80	1.84	1.82	1.73
	Contenido de humedad (%)	12.62	14.76	16.71	19.38
suelo + 3.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.82	1.86	1.84	1.77
	Contenido de humedad (%)	11.90	14.14	15.63	17.89
suelo + 6.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.84	1.89	1.83	1.75
	Contenido de humedad (%)	12.57	14.19	16.69	18.65
suelo + 9.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.84	1.87	1.87	1.77
	Contenido de humedad (%)	12.07	13.99	15.73	17.85
suelo + 12.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.84	1.86	1.87	1.79
	Contenido de humedad (%)	11.93	13.73	15.13	17.77

Nota: Se incluye ensayo Proctor modificado para Calicata N°02, Fuente: Elaboración propia ,2022

Tabla 32.*Análisis del ensayo Proctor modificado para Calicata N°03*

C-3	N° de muestra	1	2	3	4
Suelo sin adición	Densidad seca (g/cm ³)	1.773	1.855	1.860	1.745
	Contenido de humedad (%)	9.527	12.201	15.075	17.970
suelo + 3.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.714	1.886	1.869	1.746
	Contenido de humedad (%)	6.437	11.883	15.378	17.698
suelo + 6.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.839	1.891	1.894	1.759
	Contenido de humedad (%)	8.530	11.901	13.011	15.776
suelo + 9.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.791	1.860	1.872	1.769
	Contenido de humedad (%)	9.978	11.627	14.556	17.049
suelo + 12.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.838	1.873	1.874	1.764
	Contenido de humedad (%)	9.647	12.535	14.864	17.637

Nota: Se incluye el ensayo Proctor modificado para Calicata N°03, Fuente: Elaboración propia ,2022

Tabla 33.*Análisis del ensayo Proctor modificado para Calicata N°04*

C-4	N° de muestra	1	2	3	4
Suelo sin adición	Densidad seca (g/cm ³)	1.742	1.873	1.914	1.806
	Contenido de humedad (%)	8.999	11.487	14.059	17.070
suelo + 3.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.756	1.893	1.866	1.734
	Contenido de humedad (%)	9.513	11.473	15.139	17.971
suelo + 6.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.745	1.847	1.879	1.771
	Contenido de humedad (%)	5.673	11.429	14.866	17.471
suelo + 9.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.811	1.862	1.878	1.775
	Contenido de humedad (%)	9.103	11.851	14.655	17.637
suelo + 12.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.819	1.872	1.858	1.757
	Contenido de humedad (%)	9.774	12.673	15.580	18.367

Nota: Se incluye el ensayo Proctor modificado para Calicata N°04, Fuente: Elaboración propia ,2022

Tabla 34.*Análisis del ensayo Proctor modificado para Calicata N°05*

C-5	N° de muestra	1	2	3	4
Suelo sin adición	Densidad seca (g/cm ³)	1.715	1.747	1.756	1.652
	Contenido de humedad (%)	10.804	14.455	17.550	21.212
suelo + 3.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.678	1.749	1.759	1.674
	Contenido de humedad (%)	12.058	14.073	16.974	18.311
suelo + 6.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.730	1.793	1.772	1.634
	Contenido de humedad (%)	11.887	15.962	17.688	21.165
suelo + 9.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.665	1.766	1.783	1.707
	Contenido de humedad (%)	12.142	14.693	16.694	19.683
suelo + 12.0% cemento	Densidad seca (g/cm ³)	1.670	1.739	1.767	1.683
	Contenido de humedad (%)	11.661	14.053	17.816	20.521

Nota: Se incluye el ensayo Proctor modificado para calicata N°05, Fuente: Elaboración propia ,2022

6.5.3 Análisis del ensayo CBR en suelo natural

Para el análisis de los datos obtenidos mediante el ensayo CBR en laboratorio.

Primero se utilizó los formatos, tablas y hojas de cálculo de Excel según el CBR-MTC E 132,

se trabajó para las cinco calicatas, *el detalle de los resultados se adjunta los anexos del D.7*

al D.11. Se afirma que no hubo la necesidad de hacer correcciones al CBR porque el

traductor empleado en la penetración fue tipo (S); asimismo, la máquina de penetración

utilizado fue semiautomático digital que no necesita correcciones en el CBR, tal como es el

caso del traductor circular que es manual y requiere corrección en el CBR.

- ✓ CBR del suelo natural en calicata N°01 ubicado en el km 4.89

Tabla 35.*Datos de Proctor modificado para calicata N°01*

Datos del Proctor modificado	
Máxima densidad seca (g/cm ³)	1.945
Óptimo contenido de humedad (%)	12.90
95% de Máxima densidad seca (g/cm ³)	1.848

Nota: Se incluye datos del Proctor modificado para calicata N°01, Fuente: Elaboración propia ,2022

Tabla 36.*Análisis de resultados CBR para calicata N°01*

N° GOLPES	% CBR (0.1")	% CBR (0.2")	D.S (Densidad seca)
12	8.80	12.30	1.622
26	26.40	30.90	1.787
55	45.20	50.80	1.945

Nota: Se adiciona resultados CBR para calicata N°01, Fuente: Elaboración propia ,2022

- ✓ CBR del suelo natural en calicata N°02 ubicado en el km 5.89

Tabla 37.*Datos de Proctor modificado para calicata N°02*

Datos del Proctor modificado	
Máxima densidad seca (g/cm ³)	1.843
Óptimo contenido de humedad (%)	14.90
95% de Máxima densidad seca (g/cm ³)	1.751

Notas: Se incluye Datos de Proctor modificado para calicata N°02, Fuente: Elaboración propia ,2022

Tabla 38.*Análisis de resultados CBR para calicata N°02*

N°GOLPES	% CBR (0.1")	% CBR (0.2")	D.S (Densidad seca)
12	4.60	6.60	1.441
26	13.20	16.00	1.617
55	25.60	28.00	1.843

Nota: Se adiciona resultados CBR para calicata N°02, Fuente: Elaboración propia ,2022

- ✓ CBR del suelo natural en calicata N°03 ubicado en el km 6.89

Tabla 39.*Datos de Proctor modificado para calicata N°03*

Datos del Proctor modificado	
Máxima densidad seca (g/cm3)	1.872
Óptimo contenido de humedad (%)	13.90
95% de Máxima densidad seca (g/cm3)	1.778

Nota: Se incluye Datos de Proctor modificado para calicata N°03 Fuente: Elaboración propia ,2022

Tabla 40.*Análisis de resultados CBR para calicata N°03*

N°GOLPES	% CBR (0.1")	% CBR (0.2")	D.S (Densidad seca)
12	2.2	3.8	1.491
26	10.4	12.3	1.643
55	24.2	26.4	1.872

Nota: Se adjunta resultados CBR para calicata N°03, Fuente: Elaboración propia ,2022

✓ CBR del suelo natural en calicata N°04 ubicado en el km 7.89

Tabla 41.

Datos de Proctor modificado para calicata N°04

Datos del Proctor modificado	
Máxima densidad seca (g/cm ³)	1.915
Óptimo contenido de humedad (%)	13.80
95% Máxima densidad seca (g/cm ³)	1.819

Notas: Se incluye Datos de Proctor modificado para calicata N°04, Fuente: Elaboración propia ,2022

Tabla 42.

Análisis de resultados CBR para calicata N°04

N°GOLPES	% CBR (0.1")	% CBR (0.2")	D.S (Densidad seca)
12	3.2	4.7	1.511
26	10.0	11.4	1.666
55	21.2	22.8	1.915

Nota: Se incorpora resultados CBR para calicata N°04, Fuente: Elaboración propia ,2022

✓ CBR del suelo natural en calicata N°05 ubicado en el km 8.89

Tabla 43.

Datos de Proctor modificado para calicata N°05

Datos del Proctor modificado	
Máxima densidad seca (g/cm ³)	1.759
Óptimo contenido de humedad (%)	16.62
95% de Máxima densidad seca (g/cm ³)	1.671

Nota: Se adiciona datos de Proctor modificado para calicata N°05, Fuente: Elaboración propia ,2022

Tabla 44.*Análisis de resultados CBR para calicata N°05*

N°GOLPES	% CBR (0.1")	% CBR (0.2")	D.S (Densidad seca)
12	3.8	4.6	1.390
26	8.3	9.0	1.588
55	12.1	13	1.759

Notas: Se incorpora resultados CBR para calicata N°05, Fuente: Elaboración propia ,2022

6.5.4 Análisis Ensayo Compresión no Confinada (Suelo inalterado)

El procesamiento de datos se realizó mediante hojas de cálculo de Excel *tal como se adjunta en el anexo "E"*. Se afirma que este ensayo se desarrolló para tener una comparativa de la resistencia del suelo natural inalterado vs resistencia del suelo estabilizado con cemento. Se obtuvo como resistencia a la compresión no confinada un parámetro de **0.2060 kg/cm²**.

- ✓ La Tabla 45, muestra el Ensayo compresión no confinado del suelo natural en la calicata N°05 ubicado en el km 8.89. Se analizó en esta calicata debido a que resultó según el CBR el punto más crítico.

Tabla 45.*Análisis de ensayo compresión no confinada para calicata N°05*

	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Relación altura/diámetro	Resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²)
Datos del espécimen	129.60	63.70	2.00	0.2060

Nota: Se muestra resultados de compresión no confinada para calicata N°05, Fuente: Elaboración propia ,2022

6.5.5 Análisis Ensayo Compresión Simple Suelo con Cemento

Para el procesamiento se anotó la primera carga máxima de rotura que registró el equipo de compresión simple por cada muestra. *Los detalles se adjuntan en el anexo "F"*.

- ✓ La Tabla 46, muestra el Ensayo compresión simple suelo estabilizado con proporciones entre 3% y 12% de cemento se analizó en el punto más crítico para la calicata N°05 ubicado en la progresiva del km 8.89.

Tabla 46.

Análisis de Resultados ensayo compresión simple suelo cemento

	% Cemento	Edad (días)	Carga a la compresión no confinada (kg)	Área de molde (cm ²)	f'c (kg/cm ²)	f'c promedio (kg/cm ²)	Valor mínimo permitido fc (kg/cm ²) según Norma CE.020
Suelo natural Calicata N°05	3	7	2587.40	80.36	32.20	33.10	18.00
			2780.70	81.78	34.00		
	6	7	4750.10	81.34	58.40	58.05	18.00
			4660.70	80.77	57.70		
	9	7	5039.40	78.74	64.00	63.80	18.00
			4994.60	78.53	63.60		
	12	7	5769.40	80.24	71.90	73.75	18.00
			5994.30	79.29	75.60		

Nota: Se adiciona cuadro de análisis ensayo compresión simple suelo cemento, Fuente: Elaboración propia ,2023

Se afirma que con 3% de cemento se obtuvo una resistencia de 33.10 kg/cm², tal que se cumple el parámetro mínimo de resistencia que es 18.0 kg/cm² según menciona la norma CE.020 Estabilización de Suelos y taludes.

6.5.6 Análisis Ensayo Humedecimiento y Secado

- ✓ La Tabla 47, muestra el Ensayo humedecimiento y secado del suelo estabilizado con 3% de cemento, se analizó en el punto más crítico para la calicata N°05 ubicado en la progresiva del km 8.89. *Los detalles se adjuntan en el anexo "G".*

Tabla 47.*Análisis de Ensayo humedecimiento y secado*

Espécimen		1	2
Masa seco final	g	2485	2559.6
Masa húmedo	g	3061.2	3144.9
Masa seco estimado	g	2642	2708.2
Masa seco corregido	g	2209.4
Perdida de suelo cemento espécimen N°02 %		5.80

Nota: Análisis ensayo humedecimiento y secado, Fuente: Elaboración propia

Según el análisis del ensayo humedecimiento y secado se obtuvo una pérdida de suelo cemento de 5.80% tal como se muestra en la Tabla 48, lo cual se está cumpliendo con el valor máximo de 7.00% para pérdida suelo cemento según detalla la Norma CE.020 Estabilización de Suelos y Taludes para suelos arcillosos tipo A-7.

Tabla 48.*Análisis Perdida de suelo cemento*

Perdida suelo cemento espécimen N°02	Porcentaje de cemento	Valor máximo de pérdida suelo cemento según Norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes
5.80	3%	7.00

Nota: Análisis Perdida de suelo cemento, Fuente: Elaboración propia.

La tabla 49, detalla 12 ciclos del ensayo humedecimiento y secado, cada ciclo consta de 5 horas sumergidos en agua, 42 horas en horno a 71+/- 3 °C y 1 hora para el cepillado y ranurado. Asimismo, se aprecia que el cambio de volumen máximo para el espécimen N°01 fue 3.23% y se dio en el ciclo 12 del ensayo humedecimiento y secado.

Tabla 49.*Variación de volumen para el espécimen N°01 en el ensayo humedecimiento y secado*

Ciclo	Fecha	Diámetro cm	h (cm)	Masa (g)	Volumen (cm³)	Diferencia de volumen % en Especimen N°01
1	26/01/2023	9.8	19.69	3063.1	1485.2	0.054%
2	28/01/2023	9.75	19.67	2995.2	1468.6	1.169%
3	30/01/2023	9.75	19.67	2986.5	1468.6	1.169%
4	01/01/2023	9.75	19.65	2982.8	1467.1	1.269%
5	03/01/2023	9.73	19.65	2978.8	1461.1	1.673%
6	05/01/2023	9.73	19.65	2975.9	1461.1	1.673%
7	07/02/2023	9.73	19.63	2973.1	1459.6	1.774%
8	09/02/2023	9.7	19.63	2970.1	1450.6	2.380%
9	11/02/2023	9.7	19.63	2967.3	1450.6	2.380%
10	13/02/2023	9.7	19.6	2965.2	1448.4	2.528%
11	15/02/2023	9.7	19.58	2963.5	1446.9	2.629%
12	17/02/2023	9.67	19.58	2961.2	1438	3.228%

Nota: Variación de volumen para el espécimen N°01 en el ensayo humedecimiento y secado en los 12 ciclos.

CAPITULO VII: Resultados y Discusión

7.1 Resultados

Se realizó el análisis del suelo natural y suelo estabilizado con cemento, con la finalidad de obtener los valores de resistencia y durabilidad en las zonas críticas del tramo de la carretera Mazamari-Llaylla, tomando como base la sección 6.5.1, 6.5.2, 6.5.3 ,6.5.4, 6.5.5 y 6.5.6 de la presente investigación, logrando obtener los siguientes resultados:

7.1.1 Resultados del Análisis de la Clasificación de Suelos

La tabla presenta el resumen de los resultados de la clasificación de suelos para las 5 calicatas para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari- Llaylla.

Tabla 50.

Resultados de la clasificación de suelos

ITEM	SUCS	AASHTO	CONDICION SUBRASANTE
CALICATA N°01 Ubicado en el km 4.89	SM (Arena Limosa)	A-2-4(0) Grava y arena limosa	Excelente a buena
CALICATA N°02 Ubicado en el km 5.89	SM (Arena Limosa)	A-2-6 (0) Grava y arena limosa o arcillosa	Excelente a buena
CALICATA N°03 Ubicado en el km 6.89	SM (Arena Limosa)	A-2-6(0) Grava y arena limosa o arcillosa	Excelente a buena
CALICATA N°04 Ubicado en el km 7.89	SM (Arena Limosa)	A-4(0) Suelos limosos	Regular y deficiente
CALICATA N°05 Ubicado en el km 8.89	SM (Arena Limosa)	A-7-6(6) Suelos arcillosos	Regular y deficiente

Nota: Resultados de la clasificación de suelos, Fuente: Elaboración propia ,2022.

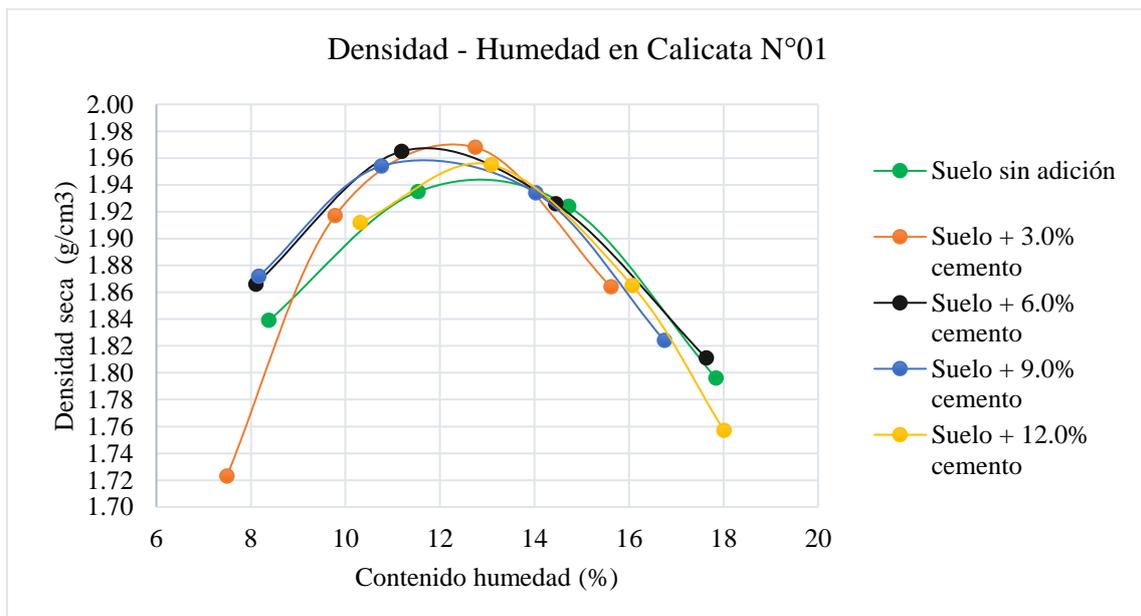
7.1.2 Resultados del Análisis del Ensayo Proctor modificado

La Figura 26, muestra los resultados del ensayo Proctor modificado, donde se obtuvo los parámetros de máxima densidad seca (MDS) y óptimo contenido de humedad (OCH) para cada porcentaje de cemento evaluado en la calicata N°01 ubicado en el km 4.89:

- Suelo sin adición: MDS = 1.945 g/cm³, OCH= 12.90%
- Suelo + 3.0% cemento: MDS = 1.972 g/cm³, OCH=12.0 %
- Suelo + 6.0% cemento: MDS = 1.967 g/cm³, OCH = 12.0%
- Suelo + 9.0% cemento: MDS= 1.962 g/cm³, OCH= 12.0%
- Suelo + 12.0% cemento: MDS= 1.956 g/cm³, OCH = 12.50%

Figura 26.

Resultados de los ensayos Proctor modificado de la calicata 1



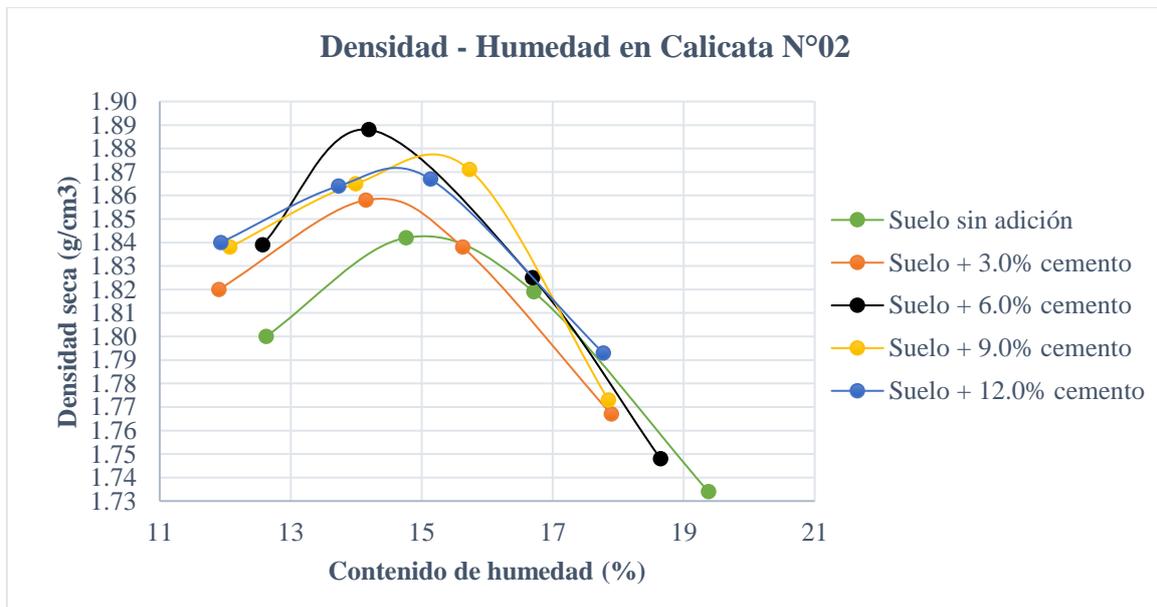
Nota: Resultados de los ensayos proctor modificado de la calicata 1, Fuente: Elaboración propia ,2022

La Figura 27, muestra los resultados del ensayo Proctor modificado, en el que se obtuvo los parámetros de máxima densidad seca (MDS) y óptimo contenido de humedad (OCH) para cada porcentaje de cemento evaluado en la calicata N°02 ubicado en el km 5.89:

- Suelo sin adición: MDS = 1.843 g/cm³, OCH= 14.90%
- Suelo + 3.0% cemento: MDS = 1.859 g/cm³, OCH=14.10 %
- Suelo + 6.0% cemento: MDS = 1.889 g/cm³, OCH = 14.20%
- Suelo + 9.0% cemento: MDS= 1.875 g/cm³, OCH= 14.60%
- Suelo + 12.0% cemento: MDS= 1.871g/cm³, OCH = 14.90%

Figura 27.

Resultados de los ensayos Proctor modificado de la calicata 2



Nota: Resultados de los ensayos proctor modificado de la calicata 2, Fuente: Elaboración propia ,2022.

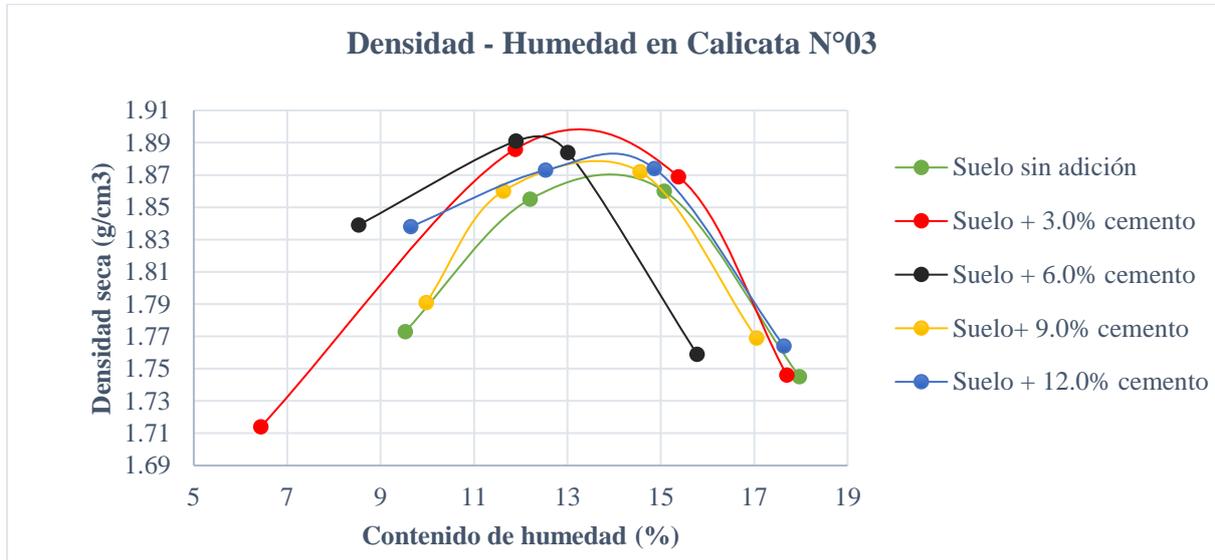
La Figura 28, muestra los resultados del ensayo Proctor modificado, en el cual se obtuvo los parámetros de máxima densidad seca (MDS) y óptimo contenido de humedad (OCH) para para cada porcentaje de cemento evaluado en la calicata N°03 ubicado en el km 6.89:

- Suelo sin adición: MDS = 1.872 g/cm³, OCH= 13.90%
- Suelo + 3.0% cemento: MDS = 1.900 g/cm³, OCH=13.45 %
- Suelo + 6.0% cemento: MDS = 1.895 g/cm³, OCH = 12.79%

- Suelo + 9.0% cemento: MDS= 1.885 g/cm³, OCH= 13.40%
- Suelo + 12.0% cemento: MDS= 1.880 g/cm³, OCH = 14.00%

Figura 28.

Resultados de los ensayos Proctor modificado de la calicata 3



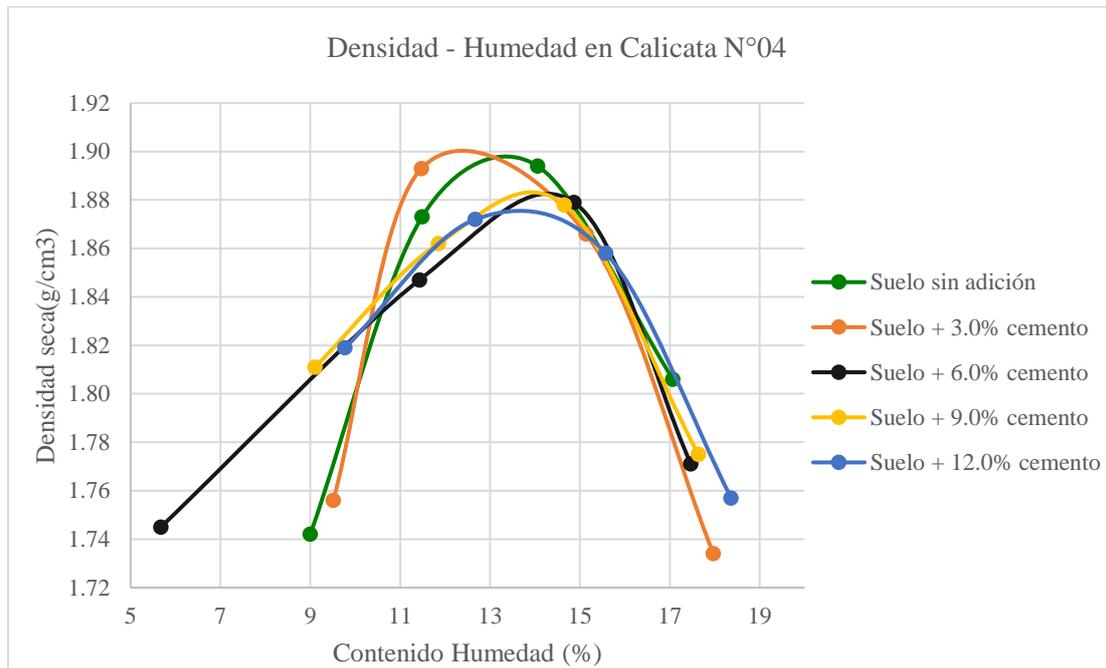
Nota: Resultados de los ensayos proctor modificado de la calicata 3, Fuente: Elaboración propia ,2022.

La Figura 29, muestra los resultados del ensayo Proctor modificado; asimismo, se obtuvo los parámetros de la máxima densidad seca (MDS) y óptimo contenido de humedad (OCH) para cada porcentaje de cemento evaluado en la calicata N°04 ubicado en el km 7.89:

- Suelo sin adición: MDS = 1.915 g/cm³, OCH= 13.90%
- Suelo + 3.0% cemento: MDS = 1.918 g/cm³, OCH=12.98 %
- Suelo + 6.0% cemento: MDS = 1.885 g/cm³, OCH = 14.00%
- Suelo + 9.0% cemento: MDS= 1.880 g/cm³, OCH= 14.00%
- Suelo + 12.0% cemento: MDS= 1.875 g/cm³, OCH = 13.70%

Figura 29.

Resultados de los ensayos Proctor modificado de la calicata 4



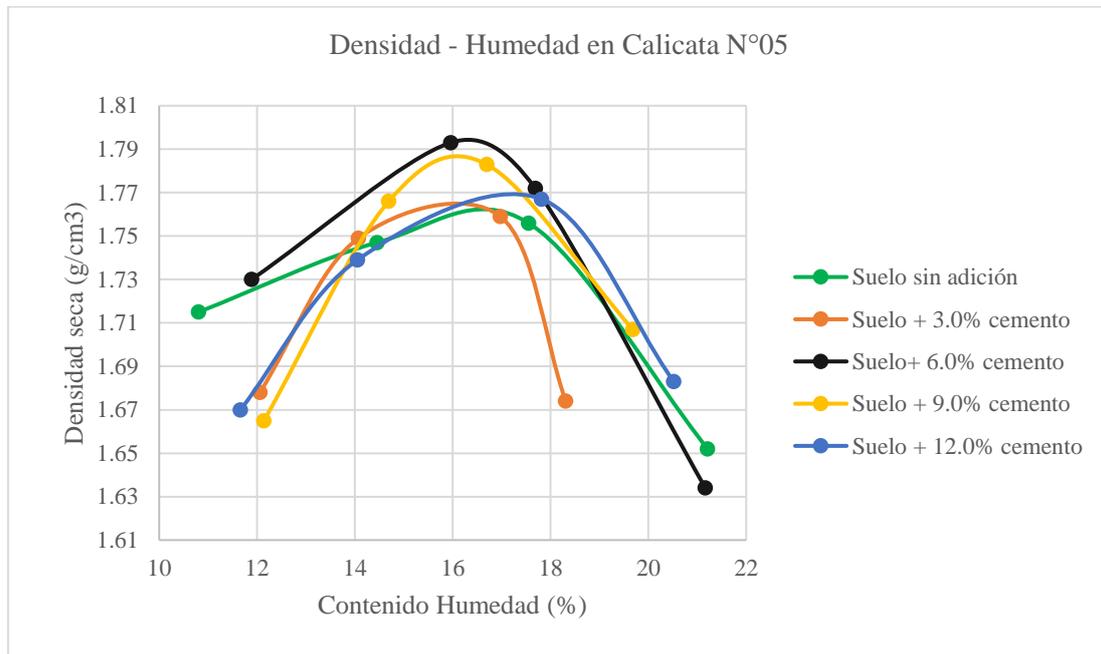
Nota: Resultados de los ensayos proctor modificado de la calicata 4, Fuente: Elaboración propia ,2022.

La Figura 30, muestra los resultados del ensayo Proctor modificado, donde se obtuvo los parámetros de la máxima densidad seca (MDS) y óptimo contenido de humedad (OCH) para cada porcentaje de cemento evaluado en la calicata N°05 ubicado en el km 8.89:

- Suelo sin adición: MDS = 1.759 g/cm³, OCH= 16.82%
- Suelo + 3.0% cemento: MDS = 1.767 g/cm³, OCH=15.65 %
- Suelo + 6.0% cemento: MDS = 1.794 g/cm³, OCH = 16.30%
- Suelo + 9.0% cemento: MDS= 1.784 g/cm³, OCH= 16.25%
- Suelo + 12.0% cemento: MDS= 1.773 g/cm³, OCH = 16.85%

Figura 30.

Resultados de los ensayos Proctor modificado de la calicata 5



Nota: Resultados de los ensayos proctor modificado de la calicata 5, Fuente: Elaboracion propia ,2022

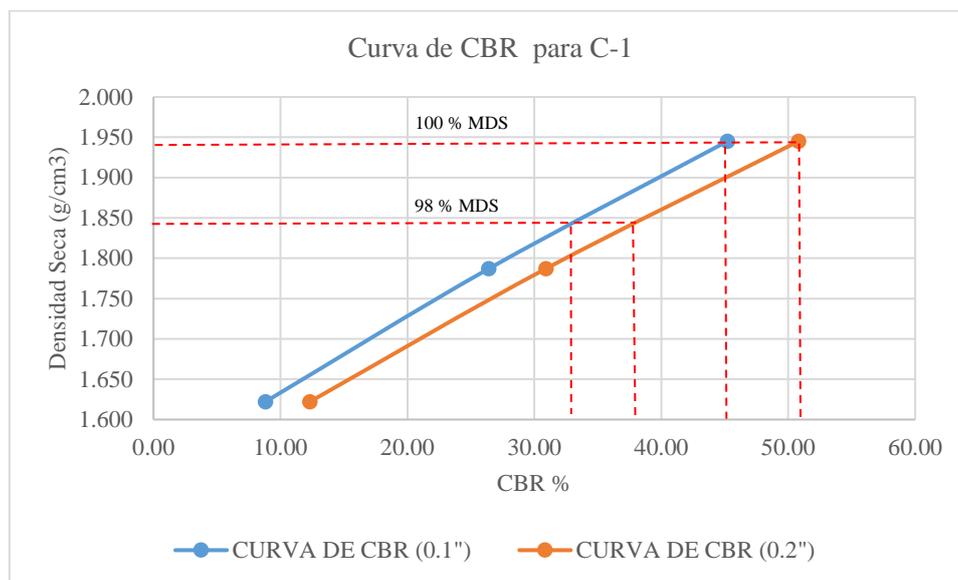
7.1.3 Resultados del Análisis del Ensayo CBR para Suelo Natural

Calicata N°01 ubicado en la progresiva del km 4.89

La Figura 31, muestra los resultados del ensayo CBR del suelo en estado natural, estos valores permiten analizar el CBR al 95% MDS (Máxima Densidad Seca) y 100% MDS (Máxima Densidad Seca).

Figura 31.

Resultados del ensayo CBR para calicata 1



Nota: Resultados del ensayo CBR para calicata 1, Fuente: Elaboración propia ,2022

En la Tabla 51, se muestra los valores de los resultados del CBR al 100% y 95% de la MDS para las penetraciones de 0.1 pulg. y 0.2 pulg; asimismo, el resaltado con amarillo representa el valor del CBR que resulto 33.60% a 0.1 pulg al 95% MDS, este parámetro se utiliza en el diseño de pavimentos flexibles.

Tabla 51.

Valores de CBR para calicata 1

	2.54mm (0.1")	5.08 mm (0.2")
CBR al 100% MDS	45.2	50.75
CBR al 95% MDS	33.6	38.45

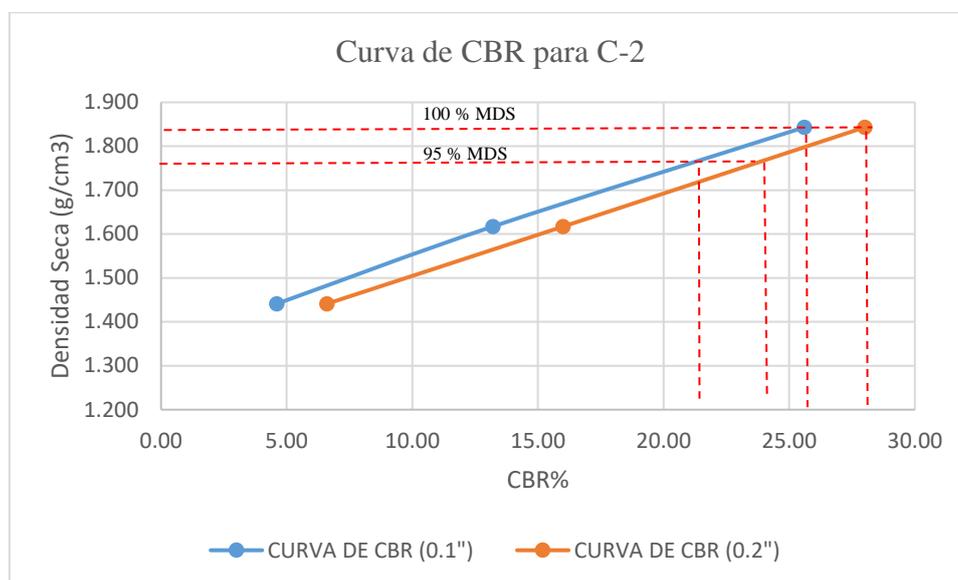
Nota: Valores de CBR para calicata 1, Fuente: Elaboración propia ,2022

Calicata N°02 ubicado en la progresiva del km 5.89

La Figura 32, muestra los resultados del ensayo CBR del suelo en estado natural, estos valores permiten analizar el CBR al 95% MDS (Máxima Densidad Seca) y CBR al 100% MDS (Máxima Densidad Seca).

Figura 32.

Resultados del ensayo CBR para calicata 2



Nota: Resultados del ensayo CBR para calicata 2, Fuente: Elaboración propia ,2022

En la Tabla 52, se muestra los valores de los resultados del CBR al 100% y 95% de la MDS para las penetraciones de 0.1 pulg. y 0.2 pulg, asimismo el resultado con amarillo representa el valor del CBR que resulto 22.40% a 0.1 pulg al 95% MDS, este parámetro se utiliza en el diseño de pavimentos flexibles.

Tabla 52.

Valores de CBR para calicata 2

	2.54mm (0.1")	5.08 mm (0.2")
CBR al 100%	25.6	28.01
CBR al 95%	22.4	24.63

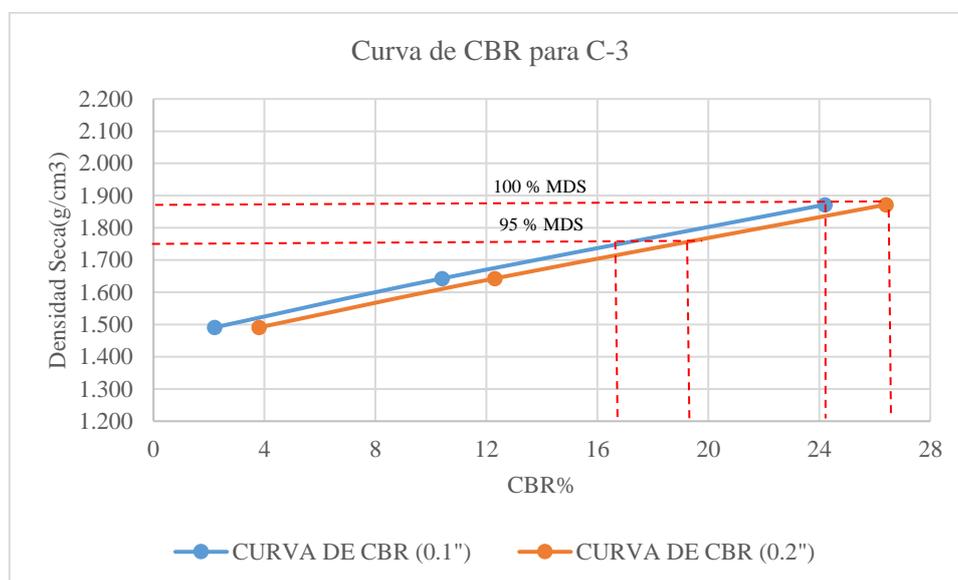
Nota: Valores de CBR para calicata 2, Fuente: Elaboración propia ,2022

Calicata N°03 ubicado en la progresiva del km 6.89

La Figura 33, muestra los resultados del ensayo CBR del suelo en estado natural, estos valores permiten analizar el CBR al 95% MDS (Máxima Densidad Seca) y CBR al 100% MDS (Máxima Densidad Seca).

Figura 33.

Resultados del ensayo CBR para calicata 3



Nota: Resultados del ensayo CBR para calicata 3, Fuente: Elaboración propia ,2022

En la Tabla 53, se muestra los valores de los resultados del CBR al 100% y 95% de la MDS para las penetraciones de 0.1 pulg. y 0.2 pulg; asimismo, el resaltado con amarillo representa el valor del CBR que resultó 16.80% a 0.1 pulg al 95% MDS, este parámetro se utiliza en el diseño de pavimentos flexibles.

Tabla 53.

Valores de CBR para calicata 3

	2.54mm (0.1")	5.08 mm (0.2")
CBR al 100%	24.2	26.37
CBR al 95%	16.8	18.56

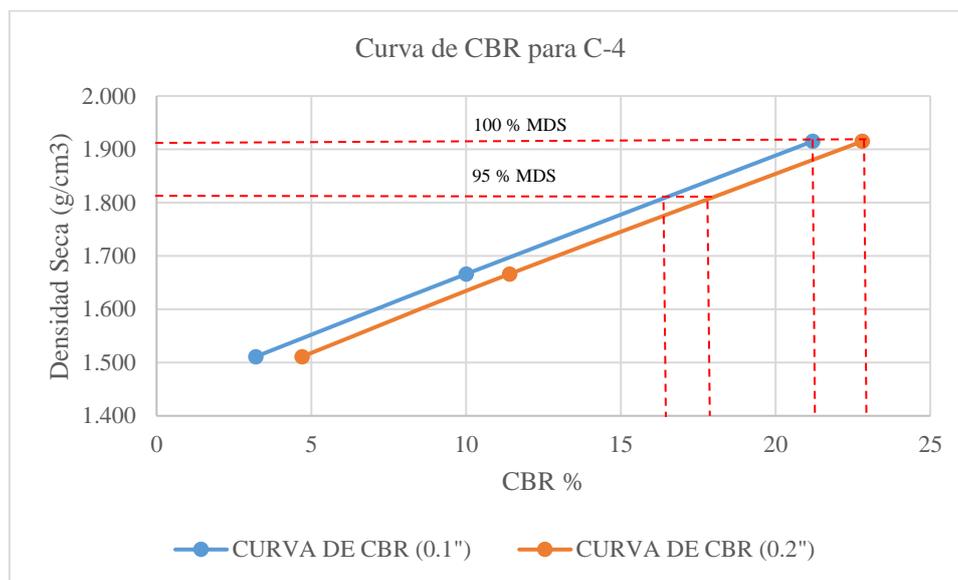
Nota: Valores de CBR para calicata 3, Fuente: Elaboración propia ,2022

Calicata N°04 ubicado en la progresiva del km 7.89

La Figura 34, muestra los resultados del ensayo CBR del suelo en estado natural, estos valores permiten analizar el CBR al 95% MDS (Máxima Densidad Seca) y CBR al 100% MDS (Máxima Densidad Seca).

Figura 34.

Resultados del ensayo CBR para calicata 4



Nota: Resultados del ensayo CBR para calicata 4, Fuente: Elaboración propia ,2022

La Tabla54, se muestra los valores de los resultados del CBR al 100% y 95% de la MDS para las penetraciones de 0.1 pulg. y 0.2 pulg; asimismo, el resaltado con amarillo representa el valor del CBR que resulto 16.50% a 0.1 pulg al 95% MDS, este parámetro se utiliza en el diseño de pavimentos flexibles.

Tabla 54.

Valores de CBR para calicata 4

	2.54mm (0.1")	5.08 mm (0.2")
CBR al 100%	21.2	22.76
CBR al 95%	16.5	17.48

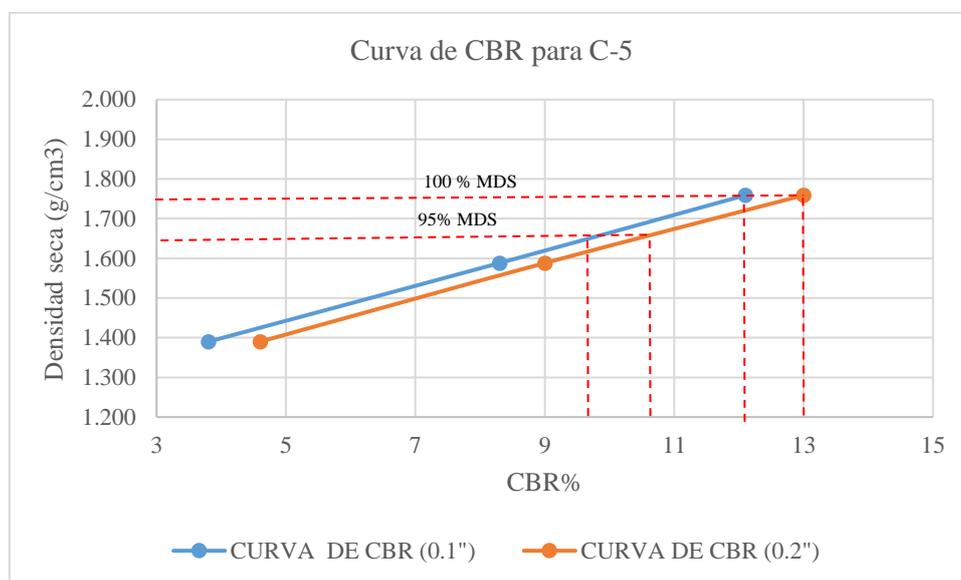
Nota: Valores de CBR para calicata 4, Fuente: Elaboración propia ,2022

Calicata N°05 ubicado en la progresiva del km 8.89

La Figura 35, muestra los resultados del ensayo CBR del suelo en estado natural, estos valores permiten analizar el CBR al 95% MDS (Máxima Densidad Seca) y CBR al 100% MDS (Máxima Densidad Seca).

Figura 35.

Resultados del ensayo CBR para calicata 5



Nota: Resultados del ensayo CBR para calicata 5, Fuente: Elaboración propia ,2022

En la Tabla 55, se muestra los valores de los resultados del CBR al 100% y 95% de la MDS para las penetraciones de 0.1 pulg. y 0.2 pulg; asimismo, el resaltado con amarillo representa el valor del CBR que resultó 9.40% a 0.1 pulg al 95% MDS, este parámetro se utiliza en el diseño de pavimentos flexibles. Debido al valor más bajo de CBR se afirma que el punto más crítico para analizar la durabilidad y resistencia del suelo estabilizado con cemento es en la calicata N°05 ubicado en progresiva del km 8.89.

Tabla 55.

Valores de CBR para calicata 5

	2.54mm (0.1")	5.08 mm (0.2")
CBR al 100% MDS	12.1	13.03
CBR al 95% MDS	9.4	10.56

Nota: Valores de CBR para calicata 5, Fuente: Elaboración propia ,2022

7.1.4 Resultados del Análisis del Ensayo Compresión no Confinada

Este ensayo se desarrolló para la calicata N°05, ya que resultó con el valor más bajo de CBR siendo el punto más crítico. Tal como se muestra en la sección 6.5.4 en la tabla 45 se obtuvo una resistencia a la compresión no confinada de 0.2060 kg/cm².

7.1.5 Resultados del Análisis del Ensayo Compresión Simple para Suelo Cemento

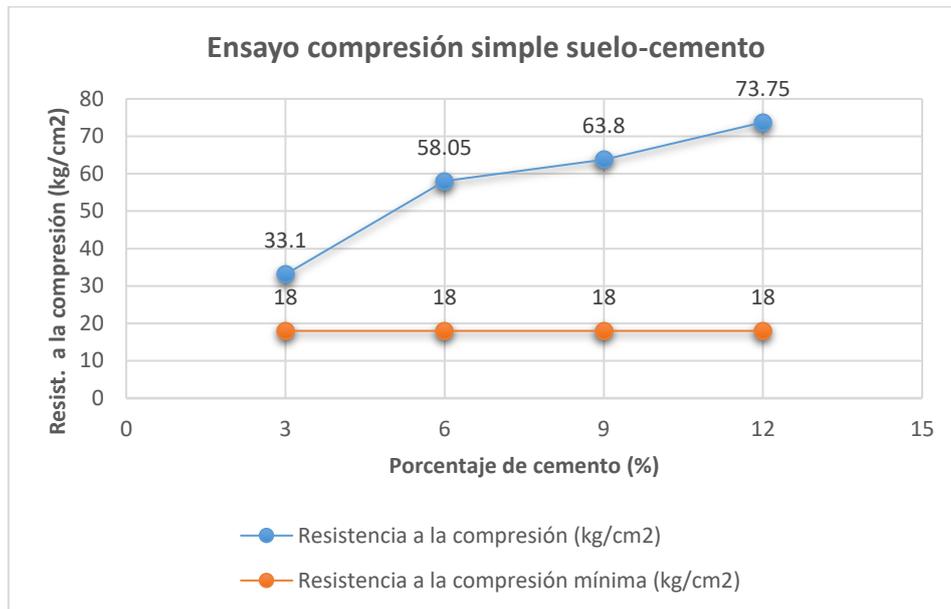
Este ensayo se desarrolló para la calicata N°05, ya que resultó el punto más crítico ubicado en la progresiva del km 8.89. La Figura 36, muestra los resultados del ensayo compresión simple del suelo con las proporciones de cemento entre 3% y 12%. Según la norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes, Documento técnico soluciones básicas en carreteras no pavimentadas, la norma EG.2013; afirman que valor mínimo de resistencia para el suelo estabilizado con cemento es 18 kg/cm². De acuerdo a la Figura 36 se tiene lo siguiente:

- Suelo + 3.0% cemento: Resist. a compresión = 33.10 kg/cm²
- Suelo + 6.0 % cemento: Resist. a compresión= 58.05 kg/cm²
- Suelo + 9.0% cemento: Resist. a compresión = 63.80 kg/cm²
- Suelo + 12.0% cemento: Resist. a compresión = 73.75kg/cm²

Se afirma que con 3% de cemento estabilizado al suelo se cumple el parámetro mínimo de resistencia que es 18 kg/cm².

Figura 36.

Resultados del ensayo compresión simple suelo cemento calicata 5



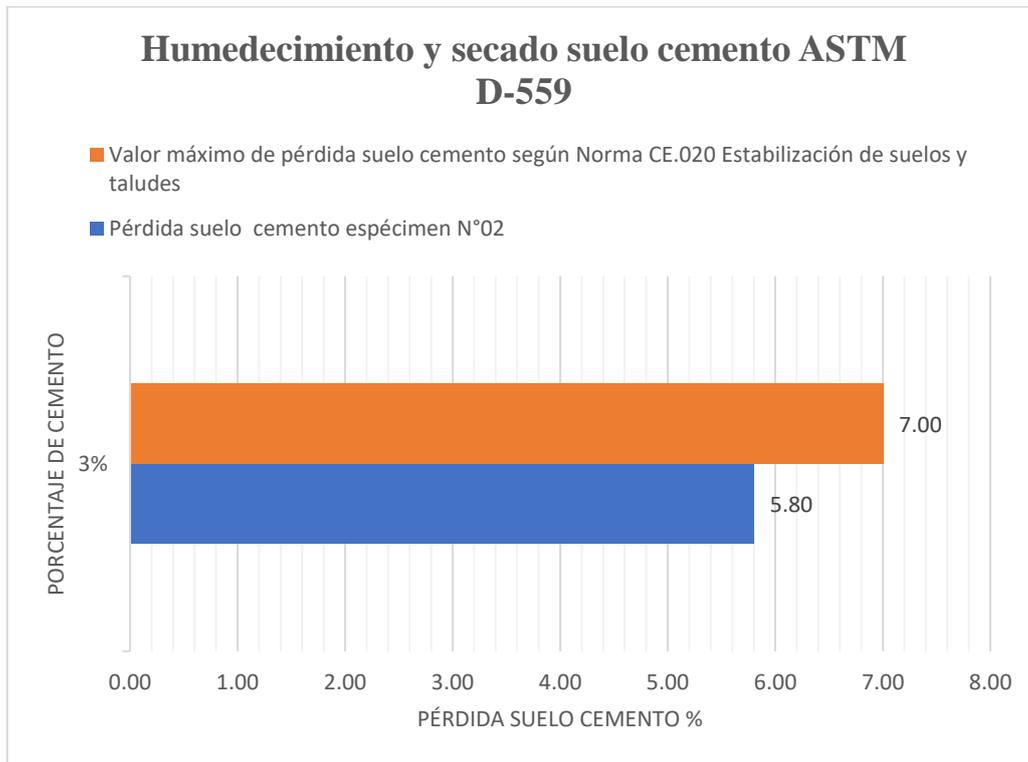
Nota: Resultados del ensayo compresión simple suelo cemento calicata 5, Fuente: Elaboración propia, 2023

7.1.6 Resultados del Análisis del Ensayo Humedecimiento y Secado

Este ensayo se desarrolló para la calicata N°05, ya que resultó el punto más crítico ubicado en la progresiva del km 8.89. La Figura 37, muestra el resultado del ensayo humedecimiento y secado del suelo con la proporción de 3 % cemento para el espécimen N°02. Según la norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes, Documento técnico soluciones básicas en carreteras no pavimentadas, la norma EG.2013; afirman, que el valor máximo de pérdida suelo cemento para el suelo estabilizado con cemento es 7.00% en suelos arcillosos del grupo A-7. Este ensayo de humedecimiento y secado solo se trabajó para el 3% de cemento como efecto de comprobación debido a que su resistencia cumple el valor mínimo de 18 kg/cm² según la norma CE.020, siendo la proporción racional para el diseño en pavimentos estabilizados. De acuerdo a la Figura 37, se obtuvo como pérdida de suelo cemento un valor de 5.80% para el suelo estabilizado con 3% de cemento.

Figura 37.

Resultados ensayo humedecimiento y secado

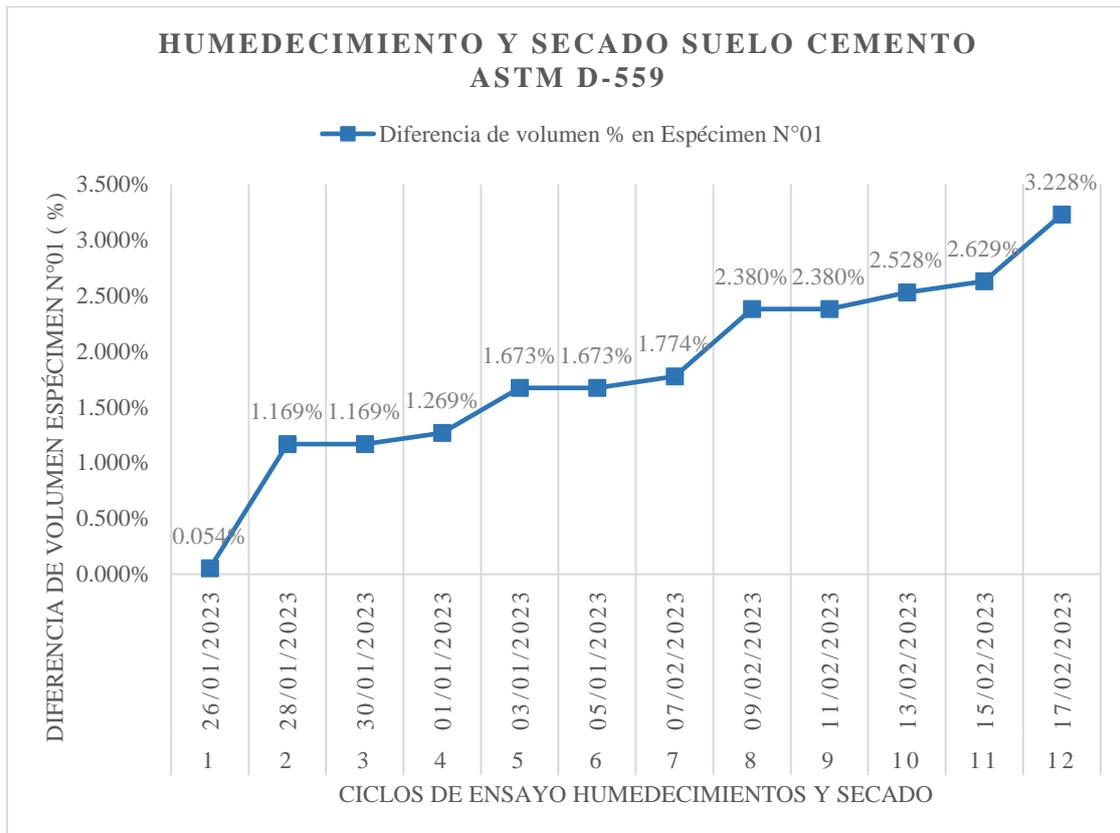


Nota: Resultados ensayo humedecimiento y secado, Fuente: Elaboración propia,2023

La Figura 37, muestra los cambios de volumen para el espécimen N°01 para el suelo estabilizado con 3% de cemento sometido al ensayo de humedecimiento y secado durante 12 ciclos de humedecimiento en agua y secado en horno, el valor máximo de cambio de volumen resultó 3.23%.

Figura 38.

Cambios de volumen para el espécimen N°01 para el suelo con 3% de cemento



Nota: Cambios de volumen para la muestra N°01 para el suelo con 3% de cemento, Fuente: Elaboración propia, 2023

7.2 Consolidación de Resultados

En primer lugar, en relación a los resultados obtenidos en la presente investigación podemos señalar lo siguiente:

La hipótesis general **SI CUMPLE**. De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos, el uso del cemento afecta positivamente en la estabilización del suelo con cemento ya que otorga una adecuada durabilidad se obtuvo una pérdida de suelo cemento de 5.80% en los especímenes sometidos a 12 ciclos de humedecimiento y secado para el suelo con 3% cemento, también incrementa sus resistencias se alcanzó un valor de 33.10 kg/cm² para suelo con 3% cemento, 58.05 kg/cm² para suelo con 6% cemento, 63.80kg/cm² para suelo con 9% cemento y 73.75kg/cm² para suelo con 12% cemento, paralelamente incrementa sus

densidades . Por lo que, es adecuado en estabilizaciones de subrasantes de carreteras no pavimentadas.

Respecto a las hipótesis específicas planteadas en la sección 4.1 – Hipótesis Específicas, podemos señalar que:

La hipótesis específicas N°1, **SI CUMPLE**. De acuerdo al análisis del ensayo CBR para las cinco calicatas como se muestra en la sección 7.1.3, para suelo natural para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari – Llaylla el punto más crítico se encuentra en el tramo del km 7.89 al km 8.89. Se obtuvo al 95% MDS a 0.1 pulg de penetración un valor de CBR de 9.4%. Asimismo, según el MTC,2013 en Categorías de Subrasantes tal como se muestra en la Tabla 7 de esta tesis los valores de $CBR \geq 6$ a $CBR < 10\%$, se considera CBR para subrasante como regular, por lo que requiere una estabilización para incrementar su resistencia, paralelamente este parámetro de CBR es utilizado en el diseño de pavimentos flexibles según la filosofía AASHTO 93 mediante monogramas lo cual es muy importante su valoración.

La hipótesis específicas N°2, **SI CUMPLE**. De acuerdo al análisis del ensayo Proctor modificado como se muestra en la sección 7.1.2, la densidad del suelo con adición de las proporciones de cemento entre 3% y 12% se mejoró significativamente para la calicata N°01 se alcanzó una mayor densidad en suelo con 3% cemento, para la calicata N°02 fue en suelo con 6 % cemento, para la calicata N°03 fue en suelo con 3% de cemento, para la calicata N°04 fue en suelo con 3% cemento y para la calicata N°05 fue en suelo con 6% de cemento.

La hipótesis específicas N°3, **SI CUMPLE**. Tal como se muestra en la sección 7.1.5, la proporción racional del cemento se encuentra entre 3% y 12%. Asimismo, la proporción más viable viene a ser el 3% de cemento ya que según las normas CE.020 Estabilización de suelos y taludes, Documento Técnico de Soluciones Básicas en Carreteras no Pavimentadas y EG.2013, afirman que el parámetro mínimo para la resistencia es 18 kg/cm² y para la

durabilidad la pérdida de suelo cemento no debe ser mayor a 7.00% para suelos arcillosos A-7, por lo que, al estabilizar el suelo con 3% de cemento se obtuvo una resistencia de 33.10 kg/cm² de manera que se está cumpliendo con lo mencionado en las normas. Por lo tanto, la durabilidad solo se evaluó para el suelo con 3% de cemento y se obtuvo una pérdida de suelo cemento de 5.80%.

7.3 Discusión

A mayor adición de cemento al suelo se obtiene mayores valores de resistencia a la compresión simple para las proporciones 3%, 6%, 9% y 12%. Por ejemplo solo tomando como muestra la calicata N° 05 que resultó según el ensayo CBR el punto más crítico ubicado en la progresiva del km 8.89, en primer lugar para la proporción de 3% se trabajó con 3000 gramos de suelo seco con 90 gramos de cemento (3% de 3000g) haciendo un peso total de 3090gramos de suelo con cemento a esto se le añadió el óptimo contenido de humedad (OCH) que fue encontrado en la prueba densidad – humedad similar al ensayo Proctor estándar, este proceso se desarrolló para dos moldes 25 golpes/3capas, luego se aplicó la metodología del ensayo compresión simple según detalla el MTC E 1103 basado en la norma ASTM D 1633, luego se curó en una cámara húmeda por 7 días, después se trasladó a la máquina de compresión simple y se obtuvo el valor de resistencia que resultó 33.10 kg/cm² mostrado en la figura 36, este resultado cumple la resistencia mínima de 18 kg/cm² que detalla la norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes. Este mismo proceso se adaptó para la proporción de 6% en la calicata N°5 obteniéndose como resultado un valor de resistencia a la compresión simple de 58.05 kg/cm², paralelamente para la proporción 9% se obtuvo como valor de resistencia a la compresión simple de 63.80 kg/cm², de la misma forma para la proporción de 12% de cemento se obtuvo una resistencia a la compresión de 73.75 kg/cm². Cabe resaltar que a mayores proporciones que el 12% de cemento las muestras de suelo con cemento forman un espécimen de extrema rigidez a tal punto que la máquina de

ensayo compresión simple solo logra comprimir pequeñas deformaciones, esto se debe a la buena adherencia y lo conglomerante que es el cemento. Sin embargo, un exceso de adición de cemento al suelo ocasiona que el pavimento se rigidice a tal punto que el pasar de las cargas vehiculares con altos volúmenes del tráfico causen fisuras y grietas en el pavimento estabilizado con cemento.

La durabilidad se evaluó en la calicata N° 5, ubicado en la progresiva del km 8.89 que es el punto más crítico según el ensayo CBR, solo se trabajó con la proporción 3% de cemento, ya que cumplió con el parámetro mínimo de resistencia de 18 kg/cm² tal como menciona la norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes , por ejemplo se pesó 3000 gramos de suelo seco más 90 gramos de cemento (3% de 3000g) para cada molde, luego se agregó agua de acuerdo al óptimo contenido de humedad (OCH) y se curó dos moldes en una cámara húmeda por 7 días , después se aplicó la metodología del ensayo humedecimiento y secado según detalla el MTC E 1104 basado en el ASTM D 559, este ensayo consiste en 12 ciclos cada ciclo consta de 5 horas de sumergir en agua ,42 horas colocar al horno y 1 hora de cepillado. La Figura 37, muestra los resultados del ensayo de humedecimiento y secado de mezcla de suelo con 3 % de cemento compactadas, para el espécimen N°02 sujetado a 12 ciclos de humedecimiento y secado se obtuvo una pérdida de suelo cemento de 5.80%, por lo que se esta cumpliendo con el parámetro de valor máximo 7.00% en suelo arcillosos según menciona la norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes. Asimismo, el cambio de volumen máximo tal como muestra en la figura 37, para el espécimen N°01 en los 12 ciclos de ensayo fue 3.23%, por esta razón la durabilidad del suelo estabilizado con cemento es admisible.

En resumen, se hace mención que la técnica para estabilizar el suelo con cemento es aceptable porque se obtiene una alta resistencia en su compresión y una aceptable durabilidad.

CAPITULO VIII: Conclusiones y Recomendaciones

8.1 Conclusiones

- Se determinó el efecto del uso de cemento en la caracterización de la durabilidad y resistencia del suelo – cemento para el tramo del km 4.89 al km 8.89 de la carretera Mazamari – Llaylla. Se afirma que la resistencia del suelo estabilizado con cemento se midió con el ensayo de compresión simple basado en la norma ASTM D 1633, paralelamente la durabilidad del suelo estabilizado con cemento se evaluó por medio del ensayo humedecimiento y secado basado en la norma ASTM D 559, se tomó como referencia la norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes. Se concluye que el uso de cemento afecta positivamente en la estabilización del suelo con cemento incrementa la resistencia a la compresión simple porque inicialmente la resistencia a la compresión del suelo sin adición fue 0.2060 kg/cm² para la calicata N°05, luego los ensayos del suelo estabilizado con cemento en la calicata más crítica que es la N°05 mostraron una resistencia de 33.10 kg/cm² para suelo con 3% cemento, 58.05 kg/cm² para suelo con 6% cemento, 63.80 kg/cm² para suelo con 9% cemento y 73.75 kg/cm² para suelo con 12% cemento. También da una aceptable durabilidad del suelo estabilizado con cemento para subrasantes porque mediante el ensayo humedecimiento y secado en la calicata N°05, los especímenes del suelo con 3% de cemento mostraron una pérdida de suelo cemento de 5.80%, según la norma CE 0.20 Estabilización de suelos y taludes la pérdida máxima para suelos arcillosos del grupo A-7 es 7.00%, por lo que se está cumpliendo con el parámetro establecido en la norma.
- Se logró determinar el punto más crítico de la carretera medido con el CBR para el tramo del km 4.89 al km 8.89. Se menciona que el punto más crítico se ubica en la

calicata N°05, ubicado en la progresiva del km 8.89, se obtuvo un valor de CBR = 9.40% al 95%MDS a 0.1 pulg resultando el valor más bajo durante la evaluación del CBR en las cinco calicatas. Complementando el resultado para la calicata N°05, de acuerdo a la clasificación SUCS, se obtuvo una arena lima (SM) y para la clasificación AASHTO resulto un A-7-6 (6) suelo arcilloso, procediendo para la clasificación de la subrasante como un suelo regular a deficiente.

- Se determino la densidad de los suelos mediante la estabilización del suelo con cemento para el tramo del km 4.89 al km al km 8.89 de la carretera Mazamari-Llaylla. En primer lugar, se afirma que la estabilización del suelo con las proporciones de cemento entre 3% y 12% para calicata N°01 la mayor densidad se obtuvo en suelo con 3% de cemento, para la calicata N°02 la mayor densidad fue en suelo con 6% de cemento, para la calicata N°03 el mayor valor de densidad fue en suelo con 3% de cemento, para la calicata N°04 el mayor de densidad fue en suelo con 3% de cemento y para la calicata N°05 la densidad más alta fue en suelo con 6% de cemento.
- Se determino la proporción racional del cemento entre 3% y 12% mediante la evaluación de la durabilidad y resistencia del suelo estabilizado con cemento en el punto más crítico que resulto la calicata N°05. Para verificar la resistencia se realizó el ensayo de compresión simple con las proporciones de 3%,6%, 9% y 12% de cemento, se consideró como referencia el parámetro mínimo de resistencia que es 18kg/cm² según detalla la norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes, los resultados fueron para suelo con 3% cemento se alcanzó una resistencia de 33.10 kg/cm², para suelo con 6% de cemento la resistencia fue 58.05 kg/cm², para suelo con 9% cemento su resistencia fue 63.80 kg/cm² y para el suelo con 12% cemento se alcanzó una resistencia de 73.75 kg/cm². En tal sentido, se afirma para lograr una resistencia adecuada en la estabilización del suelo con la proporción entre 3% y 12%

de cemento es viable estabilizar el 3% de cemento tomando como indicador los 18 kg/cm² que detalla la norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes. En segundo lugar, como efecto de comprobación se evaluó su durabilidad, se desarrolló el ensayo de humedecimiento y secado para el suelo en el punto más crítico que es la calicata N°05, se estabilizo con 3% de cemento, los resultados mostraron que, a los 12 ciclos de humedecimiento y secado, donde cada ciclo consta de 48 horas (5 horas de saturación en agua, 42 horas secado en horno y 1 hora de cepillado), la pérdida de suelo cemento fue de 5.80%. Según la norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes, detalla que la pérdida máxima para suelo cemento en suelo arcillosos del grupo A-7 es 7.00%, asimismo el delta de perdida suelo cemento (durabilidad) es 1.2%. Por otra parte, si al suelo de la calicata N°05 se estabiliza con 2% de cemento se obtendría un valor cercano a 18 kg/cm² pero el delta de durabilidad se reduciría y se acercaría a 7.00%, por lo que el 2% de cemento no es la proporción racional adecuada, además la carretera Mazamari-Llaylla es la conexión de dos distritos con una gran demanda para el traslados de productos agrícolas, un clima húmedo y cálido, un constante tránsito vehicular y la gestión local del municipio no dispone de mucho presupuesto para colocar un micropavimento, slurry seal u otra solución moderna, es por ello que esta investigación busca cumplir con la resistencia y durabilidad para el suelo estabilizado con cemento. Por estas razones, se afirma que la proporción racional del cemento entre 3% y 12% para estabilizaciones de subrasantes en suelos arcillosos en carreteras no pavimentadas es el 3% de cemento del peso de la muestra de suelo.

8.2 Recomendaciones

- En la extracción de muestras de suelo en campo mediante calicatas se recomienda recopilar las siguientes cantidades de suelo: Paquete de clasificación (30 kg por muestra), Proctor más CBR 60 kg por ensayo de suelo por calicata, comprensión simple (30kg) y una muestra cubica inalterada de 30cmx30cmx30cm.
- En el ensayo Proctor modificado para encontrar el óptimo contenido de humedad (OCH) del suelo se recomienda trabajar con números proporcionales que suban de 2 en 2 o de 3 en 3, para suelos granulares tal como es el caso de esta investigación.
- En cuanto al ensayo CBR respecto a los valores obtenidos, la penetración de 2.54mm se emplea en el diseño de pavimentos base granular, sub base granular y subrasante y la penetración de 5.08mm se usa para el control, compactación en obra, ya sean al 95%MDS o 100%MDS.
- Se recomienda a los gobiernos locales con baja disponibilidad presupuestal fomentar la difusión de la estabilización de subrasante con cemento para los mantenimientos de las carreteras no pavimentadas de sus centros poblados.

Referencias

- ASTM D1557 *.Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort* .(56 000 ft-lbf/ft³ (2 700 kN-m/m³).
- BRAJA, M.DAS. (2013). *Fundamentos De La Ingeniería Geotécnica*. México: Thomson editores S.A.
- Castro, M. y Navarro, J. (2020). *Propuesta de mejora de suelos arcillosos de alta plasticidad a nivel subrasantes mediante la adición de cemento portland para disminuir el cambio volumétrico provocado por las condiciones climáticas en la Av. Padre Salas, Villa Rica, Oxapampa, Pasco*. (Tesis de Pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Perú.
- Cemex, (2019). Artículos de Construcción. Obtenido de <https://www.cemex.com.pe/-/hablando-de-cementos-portland>
- CLIMATE – DATA.ORG. (2018). *Clima Satipo*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/junin/satipo-765032/>
- Córdova.M. (2013). *Estadística Descriptiva e Inferencial Aplicaciones*. Perú: Editorial, librería Moshera S.R.L
- García, J. (2019). *Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín*. (Tesis pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
- Gonzalo,E. y Escobar,C.(2016). *Geomecánica*. Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/geomecanica.pdf>
- Hernández, R.(2014). *Metodología de la Investigación*. Colombia: Mc Graw Hill education Editores S.A
- Hidalgo, D.(2016). *Análisis comparativo de los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo- cemento, aplicado a suelos arcillosos de subrasante*. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.
- INDECI (23 Febrero 2016). *Precipitaciones Pluviales Afecta Distrito de Mazamari-Junín*. Obtenido de <https://www.indeci.gob.pe/wpcontent/uploads/2019/01/20160229151106.pdf>
- Jurado, C. y Clavijo, D. (2016). *Estabilización de suelos con cemento tipo MH para mejorar las características físicas y mecánicas del material de subsuelo de la zona de Talleres y Cocheras de la PLMQ, sector Quitumbe*. (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito.
- Manual de Carreteras (2013). *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*. Capítulo III, Suelos Estabilizados con Cemento pag (117). Obtenido

[dehttps://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf)

- Manual de carreteras. (2013). *Suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Capítulo III Componentes de la infraestructura del camino, pag.25
- Manual de carreteras. (2013). *Suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Capítulo IV Numero de calicatas para exploración de suelos, pag.25
- Menéndez, J. (2013). *Ingeniería de Pavimentos*, Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima- Perú.
- Morocho, F. y Casaverde, G. (2022). *Diseño y aplicación de base estabilizada con cemento, producida en planta de suelos para el tramo 2 de la carretera departamental costanera II*. (Tesis de Pregrado). Universidad de Piura. Perú.
- MTC (2015). Documento Técnico Soluciones Básicas en Carreteras no Pavimentadas. Obtenido de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/otras/Doc.%20Tecnico%20Soluciones%20B%C3%A1sicas%20\(RD%20003_2015_MTC_14\).pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/otras/Doc.%20Tecnico%20Soluciones%20B%C3%A1sicas%20(RD%20003_2015_MTC_14).pdf)
- MTC E 1101. (2016). *Preparación en el laboratorio de probetas suelo cemento. Manual de ensayo de materiales (Sección N°11 Estabilizaciones)*, pág. 994
- MTC E 1102. (2016). *Relaciones humedad-densidad (suelo-cemento) .Manual de ensayo de materiales (Sección N°11 Estabilizaciones)*, pág. 999
- MTC E 1103. (2016). *Resistencia a la compresión de probetas de suelo-cemento. Manual de ensayo de materiales (Sección N°11 Estabilizaciones)*, pág. 1005
- MTC E 1104. (2016). *Humedecimiento y Secado de Mezclas de Suelo-Cemento Compactadas. Manual de ensayo de materiales (Sección N°11 Estabilizaciones)*, pág. 1009
- MTC E 115. *Compactación de Suelos en Laboratorio Utilizando una Energía Modificada. (Proctor Modificado)*.
- MTC E 132. *CBR de suelos (laboratorio)*. Manual de ensayo de materiales pag.248
- MTC. (2014). *Manual de carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Sección Suelos y Pavimentos. Capítulo IX Estabilización de Suelos pag (89). Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf
- Norma CE.020. Estabilización de Suelos y Taludes. Obtenido de http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/NORMACE020.pdf

- NTP 334.034. (2015). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/ntp-339034-metodo-de-ensayo-normalizado-para-la-determinacion-de-la-resistencia-a-la-compresion-del-concreto-en-muestras-cilindricas-2-pdf-free.html>
- NTP 339.128 1999 (Revisada el 2019) SUELOS. *Método de ensayo para el análisis granulométrico*. 1ra Edición.
- NTP 339.129 1999 (Revisada el 2019) SUELOS. *Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos*. 1ra Edición.
- NTP 339.134 1999 (Revisada el 2019) SUELOS. *Método para la clasificación de suelos con propósito de ingeniería (Sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)*. 1ra Edición.
- NTP 339.135 1999 (Revisada el 2019) SUELOS. *Método para la clasificación de suelos para uso en vías de transporte*. 1ra Edición
- NTP 339.141. (2019). *Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada*. (2700 Kn-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³)
- NTP 339.167:2002 (Revisada 2015) SUELOS. *Método de ensayo normalizado para la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos*.
- Pardave, V. (2011). *Mecánica de Suelos 1 y 2*. Biblioteca Nacional Del Perú: El Estudiante S.A.C.
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*. Obtenido de https://www.academia.edu/36925573/ENRIQUE_PASQUEL_CARBAJAL_TOPICOS_DE_TECNOLOGIA
- Rivera, H. (2011). *Geología General*. Arequipa -Perú: Grupo Editorial Megabyte S.A.C
- RPP Noticias (17 Enero 2017). *Satipo: Fuertes huaycos y lluvias afectaron las carreteras*. Obtenido de <https://rpp.pe/peru/junin/satipo-fuertes-lluvias-y-huaycos-afectaron-las-carreteras-noticia-1024328>
- Velásquez, C. (2018). *Influencia del cemento portland tipo 1 en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector la molina* (Tesis pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.

Anexos

ANEXO A: SOLICITUDES

ANEXO B: TRABAJOS GEOTECNICOS

ANEXO C: ENSAYOS EN LABORATORIO

ANEXO C.1: CLASIFICACION DE SUELOS

ANEXO C.2: ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CALICATA N°01

ANEXO C.3: ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CALICATA N°02

ANEXO C.4: ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CALICATA N°03

ANEXO C.5: ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CALICATA N°04

ANEXO C.6: ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CALICATA N°05

ANEXO C.7: ENSAYO CBR CALICATA N°01

ANEXO C.8: ENSAYO CBR CALICATA N°02

ANEXO C.9: ENSAYO CBR CALICATA N°03

ANEXO C.10: ENSAYO CBR CALICATA N°04

ANEXO C.11: ENSAYO CBR CALICATA N°05

ANEXO D: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

ANEXO D.1: RESULTADOS CLASIFICACION DE SUELOS

ANEXO D.2: RESULTADOS ENSAYO PROCTOR MODIFICADO PARA SUELO SIN ADICION Y SUELO CON 3%,6%,9% Y 12% DE CEMENTO PARA LA CALICATA N°01

ANEXO D.3: RESULTADOS ENSAYO PROCTOR MODIFICADO PARA SUELO SIN ADICION Y SUELO CON 3%,6%,9% Y 12% DE CEMENTO PARA LA CALICATA N°02

ANEXO D.4: RESULTADOS ENSAYO PROCTOR MODIFICADO PARA SUELO SIN ADICION Y SUELO CON 3%,6%,9% Y 12% DE CEMENTO PARA LA CALICATA N°03

ANEXO D.5: RESULTADOS ENSAYO PROCTOR MODIFICADO PARA SUELO SIN ADICION Y SUELO CON 3%,6%,9% Y 12% DE CEMENTO PARA LA CALICATA N°04

ANEXO D.6: RESULTADOS ENSAYO PROCTOR MODIFICADO PARA SUELO SIN ADICION Y SUELO CON 3%,6%,9% Y 12% DE CEMENTO PARA LA CALICATA N°05

ANEXO D.7: RESULTADOS ENSAYO CBR PARA SUELO SIN ADICION PARA LA CALICATA N°01

ANEXO D.8: RESULTADOS ENSAYO CBR PARA SUELO SIN ADICION PARA LA CALICATA N°02

ANEXO D.9: RESULTADOS ENSAYO CBR PARA SUELO SIN ADICION PARA LA CALICATA N°03

ANEXO D.10: RESULTADOS ENSAYO CBR PARA SUELO SIN ADICION PARA LA CALICATA N°04

ANEXO D.11: RESULTADOS ENSAYO CBR PARA SUELO SIN ADICION PARA LA CALICATA N°05

ANEXO E: RESULTADOS ENSAYO COMPRESIÓN NO CONFINADA CALICATA N°05

ANEXO F: RESULTADOS ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE SUELO CON 3%,6%,9% Y 12% DE CEMENTO PARA LA CALICATA N°05

ANEXO G: RESULTADOS ENSAYO HUMEDECIMIENTO Y SECADO SUELO CON 3% DE CEMENTO PARA LA CALICATA N°05

ANEXO H: CERTIFICADO DE CALIBRACION DE LOS EQUIPOS

ANEXO A: SOLICITUDES

SOLICITO: Permiso para realizar calicatas en el tramo del C.P Nazca (Pto inicio) al C.P Carpatando (pto final a 1500m del C.P Carpatambo) ubicado en la ruta de la carretera Mazamari-Llaylla.

ING. NANCY CORONEL CAMAYO
GERENTE MUNICIPAL - LLAYLLA

REYES ASTO KEVIN LUIS, identificado con DNI N° 76523844, bachiller de la carrera ingeniería civil de la Universidad San Ignacio de Loyola (USIL), Programa Beca 18. Con el debido respeto me presento y expongo:

Que siendo necesario para el desarrollo de mi tesis, para optar el título profesional de Ingeniería Civil, solicito a Ud. Permiso para realizar calicatas en el tramo del C.P Nazca (Pto inicio) al C.P Carpatando (Pto final a 1500m del C.P Carpatambo) ubicado en la ruta de la carretera Mazamari-Llaylla. Como parte de la investigación que lleva por título **“Caracterización de la durabilidad y resistencia del suelo – cemento en el tramo de la carretera Mazamari-Llaylla, del Distrito de mazamari – Provincia Satipo –Departamento Junín”**. Se hace mención que las calicatas se realizaran a un costado de la vía con la finalidad de no retrasar el tránsito vehicular ni peatonal, la trayectoria consta de 5km donde se realizaran unas 5 calicatas de manera cuidadosa y se volverá a su estado normal tal como se encontró la carretera.

Sin otro particular me despido ante Ud. Esperando que acceda a mi solicitud por ser de justicia.

Atentamente

Mazamari, 24 de Setiembre del 2021

.....
REYES ASTO KEVIN LUIS
DNI: 76523844

"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

*Quien suscribe Ing. Nancy Coronel Camayo, Gerente municipal de la
Municipalidad Distrital de Llaylla- Provincia de Satipo- Departamento Junín,
Expide:*

PERMISO PARA REALIZAR CALICATAS

De acuerdo a la solicitud enviado por el Bach. Kevin Luis Reyes Asto de la carrera Ingeniería Civil de la Universidad San Ignacio de Loyola ,se da permiso para que pueda realizar calicatas en el tramo del C.P Nazca (Pto inicio) al C.P Carpatambo (Pto final a 1500 m del C.P Carpatambo) en la ruta de la carretera Mazamari-Llaylla ,como parte de su trabajo de investigación (Tesis) que lleva por título "Caracterización de la durabilidad resistencia del suelo -cemento en el tramo de la carretera Mazamari -Llaylla ,del distrito de Mazamari-Provincia Satipo-Departamento Junín". Cabe indicar que el solicitante al culminar la extracción de muestras del suelo deberá dejar las calicatas en su estado normal tal como se encontró la carretera.

Por lo que se expide el presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Llaylla, 04 de Octubre del 2021


MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LLAYLLA

Ing. Nancy M. Coronel Camayo
GERENTE MUNICIPAL

ANEXO B: TRABAJOS GEOTECNICOS

Tabla 56.

Excavación manual de las 5 calicatas

CALICATA	EXCAVACION	EXTRACCION
1.00		
	La excavación fue de 1.50m de profundidad	Se extrajeron 230kg de muestras de suelo para la calicata N°01
2.00		
	La excavación fue de 1.50m de profundidad	Se extrajeron 230kg de muestras de suelo para la calicata N°02
3.00		
	La excavación fue de 1.50m de profundidad	Se extrajeron 230kg de muestras de suelo para la calicata N°03

4.00



La excavación fue de 1.50m de profundidad.



Se extrajeron 230kg de muestras de suelo para la calicata N°04

5.00



Muestra inalterada cubica 30cmx30cm

Se extrajeron 230kg de muestras de suelo para la calicata N°04



Se extrajeron 230kg de muestras de suelo para la calicata N°05



La excavación fue de 1.50m de profundidad



Extracción de muestra inalterada

Nota: Excavación manual de las 5 calicatas, Fuente: Elaboración Propia ,2022

ANEXO C: ENSAYOS EN LABORATORIO

ANEXO C.1: CLASIFICACION DE SUELOS

Tabla 57.

Clasificación de suelos en las 5 calicatas

CALICATA	ENSAYO GRANULOMETRICO	ENSAYO LL Y LP
1.00		
	Se comenzó con el tamizado de la muestra de suelo	Se inició con copa de Casagrande para evaluar el líquido y después el límite plástico
2.00		
	Tamizado de las muestras de suelo en su condición seca	Ensayo copa de Casagrande e límite de plasticidad
3.00		
	Tamizado de las muestras del suelo en su condición seca	Ensayo de copa de Casagrande e índice de plasticidad

4.00



Ensayo granulométrico tamizado del suelo en su estado seco Copa de Casagrande e límite de plasticidad

5.00



Ensayo granulométrico tamizado del Suelo en su estado seco.



Copa de Casagrande e límite de plasticidad

Nota: Clasificación de suelos en las 5 calicatas, Fuente: Elaboración Propia ,2022

ANEXO C.2: ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CALICATA N°01

Tabla 58.

Ensayo Proctor modificado calicata 1

ITEM	ENSAYOS	PROCESO
<p>PATRON (Suelo natural)</p>		<p>La finalidad es encontrar la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2300 gramos de suelo seco y se agregó los porcentajes de agua de manera consecutiva (5%,8%,11% y 14%), luego se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de suelo mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura.</p>
<p>Ensayo Proctor modificado procedimiento A (25 golpes/5 capas) para cada molde Trabajar con muestras de suelo secos</p>		
<p>Suelo – 3% cemento</p>		<p>El propósito es encontrar la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2231 gramos de suelo seco más 69 gramos de cemento (3% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (6%,9%,12% y 15%), luego se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de suelo mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas.</p>
<p>Ensayo Proctor modificado procedimiento A(25 golpes/5 capas) Trabajar con muestras de suelo secos</p>		
<p>Suelo-6% cemento</p>		<p>El objetivo es descubrir la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2162 gramos de suelo seco más 138 gramos de cemento (6% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (6%,9%,12% y 15%), luego se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de suelo mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas.</p>
<p>Ensayo Proctor modificado procedimiento A(25 golpes/5 capas) Trabajar con muestras de suelo secos</p>		

**Suelo –
9%
cemento**



La meta es hallar la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2093 gramos de suelo seco más 207 gramos de cemento (9% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (6%,9%,12% y 15%), luego se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de suelo mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas.

Ensayo proctor modificado procedimiento A (
25 golpes/5 capas)

Trabajar con muestras de suelo secos

**Suelo-
12%
cemento**



La meta es hallar la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2024 gramos de suelo seco más 276 gramos de cemento (12% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (9%,12%,15% y 18%), después se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de suelo mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas.

Ensayo Proctor modificado procedimiento A (
25 golpes/5 capas)

Trabajar con muestras de suelo secos

Nota: Ensayo Proctor modificado calicata 1, Fuente: Elaboración propia ,2022

ANEXO C.3: ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CALICATA N°02

Tabla 59.

Ensayo Proctor Modificado calicata 2

ITEM	ENSAYOS	PROCESO
Patrón (suelo natural)	 <p style="text-align: center;">Ensayo Proctor modificado procedimiento A (25 golpes/5 capas) Trabajar con muestras de suelo secos</p>	<p>Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Por cada molde se pesó 2300 gramos de suelo seco y se agregó los porcentajes de agua de manera consecutiva (11%,13%,15% y 17%), luego se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de suelo mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura.</p>
Suelo-3% cemento	 <p style="text-align: center;">Ensayo Proctor modificado procedimiento A (25 golpes/5 capas) Trabajar con muestras de suelo secos</p>	<p>La intención es encontrar la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2231 gramos de suelo seco más 69 gramos de cemento (3% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (11%,13%,15% y 17%), luego se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de muestra mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas.</p>
Suelo-6% cemento	 <p style="text-align: center;">Ensayo Proctor modificado procedimiento A (25 golpes/5 capas) Trabajar con muestras de suelo secos</p>	<p>El objetivo es descubrir la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2162 gramos de suelo seco más 138 gramos de cemento (6% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (6%,9%,12% y 15%), luego se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de muestra mínimo por tara). Finalmente, las</p>

taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas.

**Suelo-9%
cemento**



Ensayo Proctor modificado procedimiento A
(25 golpes/5 capas)

Trabajar con muestras de suelo secos

El término es hallar la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se elaboró 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2093 gramos de suelo seco más 207 gramos de cemento (9% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (11%,13%,15% y 17%), luego se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de suelo mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas.

**Suelo-
12%
cemento**



Ensayo Proctor modificado procedimiento A
(25 golpes/5 capas)

Trabajar con muestras de suelo secos

En este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2024 gramos de suelo seco más 276 gramos de cemento (12% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (11%,13%,15% y 17%), después se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de suelo mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas.

Nota: Ensayo Proctor modificado calicata 2, Fuente: Elaboración propia ,2022

ANEXO C.4: ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CALICATA N°03

Tabla 60.

Ensayo Proctor Modificado calicata 3

ITEM	ENSAYO CALICATA N°03	PROCESO
Patrón (suelo natural)	 <p style="text-align: center;">Ensayo Proctor modificado procedimiento A (25 golpes/5 capas) Trabajar con muestras de suelo secos</p>	<p>Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Por cada molde se pesó 2300 gramos de suelo seco y se agregó los porcentajes de agua de manera consecutiva (6%,9%,12% y 15%), luego se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de suelo mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura.</p>
Suelo-3% cemento	 <p style="text-align: center;">Ensayo Proctor modificado procedimiento A (25 golpes/5 capas) Trabajar con muestras de suelo secos</p>	<p>La intención es encontrar la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2231 gramos de suelo seco más 69 gramos de cemento (3% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (6%,9%,12% y 15%), después se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de muestra mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas</p>
Suelo-6% cemento	 <p style="text-align: center;">Ensayo Proctor modificado procedimiento A (25 golpes/5 capas) Trabajar con muestras de suelo secos</p>	<p>El objetivo es descubrir la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2162 gramos de suelo seco más 138 gramos de cemento (6% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (9%,12%,15% y 18%), luego se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de muestra mínimo por tara). Finalmente, las taras se</p>

**Suelo-9%
cemento**



Ensayo Proctor modificado procedimiento A
(25 golpes/5 capas)
Trabajar con muestras de suelo secos

colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas.

El término es hallar la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se elaboró 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2093 gramos de suelo seco más 207 gramos de cemento (9% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (9%,12%,15% y 18%), luego se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de suelo mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas.

**Suelo-12%
cemento**



Ensayo Proctor modificado procedimiento A
(25 golpes/5 capas). Trabajar con muestras de
suelo secos

El propósito es hallar la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2024 gramos de suelo seco más 276 gramos de cemento (12% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (9%,12%,15% y 18%), después se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de suelo mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas.

Nota: Ensayo Proctor modificado calicata 3, Fuente: Elaboración propia ,2022

ANEXO C.5: ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CALICATA N°04

Tabla 61.

Ensayo Proctor Modificado calicata 4

ITEM	ENSAYO CALICATA N°04	PROCESO
Patrón (suelo natural)	 <p style="text-align: center;">Ensayo Proctor modificado procedimiento A (25 golpes/5 capas) Trabajar con muestras de suelo secos</p>	<p>Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Por cada molde se pesó 2300 gramos de suelo seco y se agregó los porcentajes de agua de manera consecutiva (8%,11%,14% y 17%), luego se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de suelo mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura</p>
Suelo- 3% cemento	 <p style="text-align: center;">Ensayo Proctor modificado procedimiento A (25 golpes/5 capas) Trabajar con muestras de suelo secos</p>	<p>La finalidad es encontrar la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2231 gramos de suelo seco más 69 gramos de cemento (3% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (9%,12%,15% y 18%), después se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de muestra mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas</p>
Suelo- 6% cemento	 <p style="text-align: center;">Ensayo Proctor modificado procedimiento A (25 golpes/5 capas) Trabajar con muestras de suelo secos</p>	<p>El objetivo es descubrir la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2162 gramos de suelo seco más 138 gramos de cemento (6% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (5%,8%,11% y 14%), luego se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de muestra mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas.</p>

**Suelo-
9%
cemento**



Ensayo Proctor modificado procedimiento A

(25 golpes/5 capas)

Trabajar con muestras de suelo secos

El término es hallar la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se elaboró 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2093 gramos de suelo seco más 207 gramos de cemento (9% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (7%,10%,13% y 16%), luego se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de suelo mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas

**Suelo-
12%
cemento**



Ensayo Proctor modificado procedimiento A

(25 golpes/5capas)

El objetivo es hallar la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2024 gramos de suelo seco más 276 gramos de cemento (12% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (8%,11%,14% y 17%), después se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de suelo mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas.

Nota: Ensayo Proctor modificado calicata 4, Fuente: Elaboración propia ,2022

ANEXO C.6: ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CALICATA N°05

Tabla 62.

Ensayo Proctor modificado calicata 5

ITEM	ENSAYO CALICATA N°05	PROCESO
<p>patrón (suelo natural)</p>		<p>Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Por cada molde se pesó 2300 gramos de suelo seco y se agregó los porcentajes de agua de manera consecutiva (8%,11%,14% y 17%), luego se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de suelo mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura.</p>
	<p>Ensayo Proctor modificado procedimiento A (25 golpes/5capas)</p>	
<p>Suelo-3% cemento</p>		<p>La finalidad es encontrar la humedad óptima del agua y la máxima densidad seca. Para este ensayo de Proctor se hicieron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2231 gramos de suelo seco más 69 gramos de cemento (3% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (9%,12%,15% y 18%), después se hizo la compactación y se pesó la muestra compactada más el molde, después con ayuda del pistón se extrajo la muestra compactada en 2 taras (500g de muestra mínimo por tara). Finalmente, las taras se colocaron en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas</p>
	<p>Ensayo Proctor modificado procedimiento A (25 golpes/5capas)</p>	
<p>Suelo-6% cemento</p>		<p>Se realizó el mismo procedimiento de las anteriores calicatas, se utilizaron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2162 gramos de suelo seco más 138 gramos de cemento (6% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (9%,12%,15% y 18%) luego se hizo la compactación.</p>
	<p>Ensayo Proctor modificado procedimiento A (25 golpes/5capas)</p>	

**Suelo-9%
cemento**



Se continuo con el mismo procedimiento de las anteriores calicatas, se utilizaron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2093 gramos de suelo seco más 207 gramos de cemento (9% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (9%,12%,15% y 18%)

Ensayo Proctor modificado procedimiento A
(25 golpes/5capas)

**Suelo-
12%
cemento**



Se prosiguió con el mismo procedimiento de las anteriores calicatas, se utilizaron 4 moldes (4 puntos) 2 puntos secos y 2 puntos húmedos. Para cada molde se pesó 2024 gramos de suelo seco más 276 gramos de cemento (12% de 2300g) y se agregó los porcentajes de agua de forma consecutiva (9%,12%,15% y 18%)

Ensayo Proctor modificado procedimiento A
(25 golpes/5capas)

Nota: Ensayo Proctor modificado calicata 5, Fuente: Elaboración propia ,2022

ANEXO C.7: ENSAYO CBR CALICATA N°01

Tabla 63.

Preparación moldes para CBR calicata N°01

ITEM	MOLDES CALICATA N°01	PROCEDIMIENTO
<p>Patrón (Suelo natural)</p>	 <p>Tres moldes diámetro (6pulg) y altura (7pulg)</p>	<p>Se trabajó con muestras secas pasante a la malla N°04, los moldes son los siguientes: Molde I (12 golpes/5 capas), molde II (26 golpes/5 capas), molde III (55 golpes/5 capas). Primero se sacó en una tara (500g de suelo seco por cada molde), luego se llevó al horno a 110°C, seguidamente por cada molde se pesó 5200 gramos de suelo seco, después se adiciono a la mezcla de cada molde el porcentaje (%) del contenido de agua óptimo modificado que fue hallado mediante el ensayo Proctor modificado, paralelamente se hizo la compactación a los tres moldes. Finalmente se pesaron los moldes más las muestras compactadas en su condición insaturado se colocó papel filtro y se adiciono el vástago con las pesas con aproximación 2,2kg a 4,5kg y con ayuda del trípode con dial se tomó la lectura inicial de expansión.</p>

Nota: Preparación moldes para CBR calicata N°01, Fuente: Elaboración propia ,2022

Saturación moldes suelo sin adición calicata N°01

Luego de tomar la lectura inicial de expansión con el dial y trípode para todos los moldes de la calicata N°01 se sumergieron en agua por 96 horas.

Figura 39.

Saturación Moldes Calicata 1



Nota: Saturación moldes patrón y suelo cemento calicata N°01, Fuente: Elaboración propia ,2022

Tabla 64.*Penetración Moldes Calicata 1*

ITEM	PENETRACION MOLDES C-1	PROCEDIMIENTO
Patrón (suelo natural)		<p>Primero se extrajo los moldes de la poza de agua, luego se tomó la lectura final de expansión con el trípode. Segundo se giró el molde 45° y se dejó por 15 minutos a temperatura ambiente para que se escurra el agua. Tercero se colocó el molde a la maquina ensayo CBR, se adicono el pistón de penetración que tiene una sección transversal de 19.35cm², asimismo se adicono la pesa anular y la ranurada el peso no debe exceder de 4527.5 gramos y se colocó el dial de penetración. Finalmente se ejecutó el ensayo CBR y se anotó las cargas cuando las penetraciones según el dial estaban en los siguientes (mm) tales como: 0.63mm, 1.27mm, 1.90mm, 2.54mm, 3.17mm, 3.81m, 5,08mm, 7.62mm, 10.16mm y 12.70mm. Se hicieron todas las penetraciones.</p>

Penetración para los 3 moldes

Nota: Penetración de moldes calicata N°01, Fuente: Elaboración propia ,2022

ANEXO C.8: ENSAYO CBR CALICATA N°02**Tabla 65.***Preparación moldes para CBR calicata 2*

ITEM	MOLDES CALICATA N°02	PROCEDIMIENTO
Patrón (suelo natural)		<p>Se laboró con muestras secas pasante a la malla N°04, los moldes son los siguientes: Molde I (12 golpes/5 capas), molde II (26 golpes/5 capas), molde III (55 golpes/5 capas). Primero se sacó en una tara (500g de suelo seco por cada molde) luego se llevó al horno a 110°C, simultáneamente por cada molde se pesó 5200 gramos de suelo seco, después se adicono a la mezcla de cada molde el porcentaje (%) del contenido de agua óptimo modificado que fue hallado mediante el ensayo Proctor modificado, paralelamente se hizo la compactación a los tres moldes. Finalmente se pesaron los moldes más las muestras compactadas en su condición insaturado se colocó papel filtro y se adicono el vástago con las pesas con aproximación 2,2kg a 4,5kg y con ayuda del trípode con dial se tomó la lectura inicial de expansión.</p>

Se utilizaron tres moldes de CBR

Nota: Preparación moldes para CBR calicata N°02, Fuente: Elaboración propia ,2022

Saturación moldes Suelo Sin Adición calicata N°02

Después de tomar la lectura inicial de expansión con el dial y trípode para todos los moldes de la calicata N°02 se sumergieron en agua por 96 horas.

Figura 40.

Saturación Moldes Calicata 2



Nota: Saturación moldes patrón y suelo cemento calicata N°02, Fuente: Elaboración **propia** ,2022.

Tabla 66.

Preparación Moldes Calicata 2

ITEM	PENETRACION MOLDES C-2	PROCEDIMIENTO
<p>Patrón (suelo natural)</p>	 <p>Penetración para los 3 moldes</p>	<p>Primero se extrajeron los moldes de la poza de agua, luego se tomó la lectura final de expansión con el trípode. Segundo se giró el molde 45° y se dejó por 15 minutos a temperatura ambiente para que se escurra el agua. Tercero se colocó el molde a la máquina ensayo CBR, se adicionó el pistón de penetración que tiene una sección transversal de 19.35cm² asimismo se adicionó la pesa anular y se ranuró el peso no debe exceder de 4527.5 gramos y se colocó el dial de penetración. Finalmente se ejecutó el ensayo CBR y se anotó las cargas cuando las penetraciones según el dial estaban en los siguientes (mm) tales como: 0.63mm, 1.27mm, 1.90mm, 2.54mm, 3.17mm, 3.81mm, 5.08mm, 7.62mm, 10.16mm y 12.70mm. Se hicieron todas las penetraciones.</p>

Nota: Penetración de moldes calicata N°02, Fuente: Elaboración propia ,2022

ANEXO C.9: ENSAYO CBR CALICATA N°03

Tabla 67.

Preparación Moldes Calicata 3

ITEM	MOLDES CALICATA N°03	PROCEDIMIENTO
<p>Patrón (suelo natural)</p>	 <p style="text-align: center;">Se utilizaron tres moldes de CBR</p>	<p>Se continuo con el mismo procedimiento descrito en las anteriores por cada molde se pesó 5200 gramos de suelo seco después se adiciono a la mezcla de cada molde el porcentaje (%) del contenido de agua óptimo modificado. Paralelamente se hizo la compactación a los tres moldes y finalmente se pesaron los moldes más las muestras compactadas en su condición insaturado se colocó papel filtro y se adiciono el vástago con las pesas con aproximación 2,2kg a 4,5kg y con ayuda del trípode con dial se tomó la lectura inicial de expansión.</p>

Nota: Preparación moldes para CBR calicata N°03, Fuente: Elaboración propia ,2022

Saturación moldes Suelo sin adición calicata N°03

Luego de tomar la lectura inicial de expansión con el dial y trípode para todos los moldes de la calicata N°03 se sumergieron en agua por 96 horas.

Figura 41.

Saturación Moldes Calicata 3



Nota: Saturación moldes patrón y suelo cemento calicata N°03, Fuente: Elaboración propia ,2022

Tabla 68 .

Penetracion Moldes Calicata 3

ITEM	PENETRACION MOLDES C-3	PROCEDIMIENTO
Patrón (suelo natural)	 <p>Penetración para los 3 moldes</p>	Primero se tomó la lectura final de expansión con el trípode. Segundo se giró el molde 45° y se dejó por 15 minutos a temperatura ambiente para que se escurra el agua. Tercero se colocó el molde a la maquina ensayo CBR, se adicono el pistón de penetración que tiene una sección transversal de 19.35cm ² asimismo se adicono la pesa anular y la ranurada el peso no debe exceder de 4527.5 gramos y se colocó el dial de penetración. Finalmente se ejecutó el ensayo CBR y se anotó las cargas cuando las penetraciones según el dial estaban en los siguientes (mm) tales como: 0.63mm, 1.27mm, 1.90mm, 2.54mm, 3.17mm, 3.81m, 5,08mm, 7.62mm, 10.16mm y 12.70mm. Se hicieron todas las penetraciones.

Nota: Penetración moldes calicata N°03, Fuente: Elaboración propia ,2022

ANEXO C.10: ENSAYO CBR CALICATA N°04

Tabla 69.

Preparación Moldes Calicata 4

ITEM	MOLDES CALICATA N°04	PROCEDIMIENTO
Patrón (suelo natural)	 <p>Se utilizaron tres moldes de CBR</p>	Se continuo con el mismo procedimiento descrito en las anteriores por cada molde se pesó 5200 gramos de suelo seco después se adicono a la mezcla de cada molde el porcentaje (%) del contenido de agua óptimo modificado. Paralelamente se hizo la compactación a los tres moldes y finalmente se pesaron los moldes más las muestras compactadas en su condición insaturado se colocó papel filtro y se adicono el vástago con las pesas con aproximación 2,2kg a 4,5kg y con ayuda del trípode con dial se tomó la lectura inicial de expansión.

Nota: Preparación moldes para CBR calicata N°04, Fuente: Elaboración propia ,2022

Saturación moldes suelo sin adición calicata N°04

Luego de tomar la lectura inicial de expansión con el dial y trípode para todos los moldes de la calicata N°04 se sumergieron en agua por 96 horas.

Figura 42.

Saturación moldes patrón y suelo cemento calicata N°04



Nota: Saturación moldes patrón y suelo cemento calicata N°04, Fuente: Elaboración propia ,2022.

Penetración de moldes calicata N°04

Tabla 70.

Penetración de moldes calicata N°04

ITEM	PENETRACION MOLDES C-4	PROCEDIMIENTO
Patrón (suelo natural)		<p>Primero se tomó la lectura final de expansión con el trípode. Segundo se giró el molde 45° y se dejó por 15 minutos a temperatura ambiente para que se escurra el agua. Tercero se colocó el molde a la maquina ensayo CBR, se adiciono el pistón de penetración que tiene una sección transversal de 19.35cm², asimismo se adiciono la pesa anular y la ranurada el peso no debe exceder de 4527.5 gramos y se colocó el dial de penetración. Finalmente se ejecutó el ensayo CBR y se anotó las cargas cuando las penetraciones según el dial estaban en los siguientes (mm) tales como: 0.63mm, 1.27mm, 1.90mm, 2.54mm, 3.17mm, 3.81m, 5,08mm, 7.62mm, 10.16mm y 12.70mm. Se hicieron todas las penetraciones.</p>

Penetración para los 3 moldes

Nota: Penetración de moldes calicata N°04, Fuente: Elaboración propia ,2022

ANEXO C.11: ENSAYO CBR CALICATA N°05

Preparación de moldes para CBR calicata N°05

Tabla 71.

Preparación moldes para CBR calicata N°05

ITEM	MOLDES CALICATA N°04	PROCEDIMIENTO
<p>Patrón (suelo natural)</p>		<p>Se continuo con el mismo procedimiento descrito en las anteriores por cada molde se pesó 5200 gramos de suelo seco, después se adiciono a la mezcla de cada molde el porcentaje (%) del contenido de agua óptimo modificado, paralelamente se hizo la compactación a los tres moldes. Finalmente se pesaron los moldes más las muestras compactadas en su condición insaturado se colocó papel filtro y se adiciono el vástago con las pesas con aproximación 2,2kg a 4,5kg y con ayuda del trípode con dial se tomó la lectura inicial de expansión.</p>

Se utilizaron tres moldes de CBR

Nota: Preparación moldes para CBR calicata N°05, Fuente: Elaboración propia, 2022

Saturación moldes Suelo sin adición calicata N°05

Luego de tomar la lectura inicial de expansión con el dial y trípode para todos los moldes de la calicata N°05 se sumergieron en agua por 96 horas.

Figura 43.

Saturación moldes patrón y suelo cemento calicata N°05



Nota: Saturación moldes patrón y suelo cemento calicata N°05, Fuente: Elaboración propia ,2022.

Penetración de moldes calicata N°05

Tabla 72.

Penetración moldes calicata N°05

ITEM	PENETRACION MOLDES C-5	PROCEDIMIENTO
<p>Patrón (suelo natural)</p>	 <p data-bbox="416 846 743 875">Penetración para los 3 moldes</p>	<p>Primero se tomó la lectura final de expansión con el trípode. Segundo se giró el molde 45° y se dejó por 15 minutos a temperatura ambiente para que se escurra el agua. Tercero se colocó el molde a la maquina ensayo CBR, se adiciono el pistón de penetración que tiene una sección transversal de 19.35cm² asimismo se adiciono la pesa anular y la ranurada el peso no debe exceder de 4527.5 gramos y se colocó el dial de penetración. Finalmente se ejecutó el ensayo CBR y se anotó las cargas cuando las penetraciones según el dial estaban en los siguientes (mm) tales como: 0.63mm, 1.27mm, 1.90mm, 2.54mm, 3.17mm, 3.81m, 5,08mm, 7.62mm, 10.16mm y 12.70mm. Se hicieron todas las penetraciones.</p>

Nota: Penetración moldes calicata N°05, Fuente: Elaboración propia, 2022

ANEXO D: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

ANEXO D.1: RESULTADOS CLASIFICACION DE SUELOS