



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



**Universidad
Andina
del Cusco**

“TESIS”

**Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo fino en el tramo de la carretera
Cusco - Paruro mediante el uso de cal al 1, 2,3 % y cemento 5%, 2021.**

Presentado por el Bachiller:

Mondragón Cusihuallpa, Frank Stewart

Para optar al Título profesional de

Ingeniero Civil

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

Cusco-Perú

2023



Dedicatoria

Dedico en primer lugar a Dios por darme un día más de vida y todo lo que consiga, a la Universidad Andina del Cusco, los muy buenos docentes por las enseñanzas, principios y valores que me dieron para poder lograr mis metas, también a los profesionales que me aconsejaron y guiaron en todo el camino para llegar a este punto. A mi familia por estar siempre pendiente y conduciéndome por el mejor de los caminos con altos y bajos, agradezco a mis amigos por la aventura de vivir una experiencia universitaria.

Frank Stewart Mondragon Cusihualpa.



Agradecimiento

A mi Madre Francisca Cusihuallpa Mora: Por ser el pilar y cimiento de mi vida guiándome por un buen camino, siempre queriéndome, teniendo la paciencia y apoyándome frente a cualquier problema que pude tener.

A mi Hermano Cristhiam Monterroso Cusihuallpa: Por ser el mejor ejemplo y modelo a seguir que cualquier hermano menor podría desear tener, por ser la razón que me empujo a estudiar esta grandiosa carrera.

Mi padre Roberto Mondragon Puma: Por ayudarme, apoyarme y aconsejarme en los momentos más difíciles, por siempre estar disponible a cualquier problema y ayudarme a continuar mis estudios

A mi tía Dora Luz Mondragon Puma: Por ser la mejor persona conmigo, ayudándome, apoyándome y preocupándose como una madre, al ser la persona que siempre estará cuando no tenga a nadie más.

A mis Docentes: Por sus enseñanzas y aportes de educación, disciplina llena de valores y principios sobre esta estupenda carrera, por la comprensión y lecciones de vida que estarán siempre presente en mi vida profesional.

Frank Stewart Mondragon Cusihuallpa



Resumen

En la vía Cusco – Paruro se observa problemas en la carretera como exceso de polvo en tiempo de secas, la carretera presenta suelo plástico en tiempos de lluvias lo cual puede generar accidentes automovilísticos por la baja fricción que tienen las llantas al momento de transportarse en esta vía y también se genera desprendimiento de algunos trozos de carretera, haciendo desperfectos en la vía. El objetivo de este presente trabajo de investigación fue evaluar en qué medida se dará la mejora de las propiedades físico-mecánicas de suelo de la carretera Cusco – Paruro con el uso de los aditivos cal 1%2%3% y cemento 5% en el año 2021, esto para poder conseguir un sub rasante adecuada que cumpla con los criterios de la norma (Pavimentos urbanos) CE.010 y también siguiendo los lineamientos, parámetros dados por el MTC 2014 (Suelos geología, geotecnia y pavimentos) , así implementar el uso de la cal y cemento conjuntamente como un eficiente aditivo estabilizante del suelo en las vías de la carretera Cusco-Paruro . Esta tesis de investigación tiene un enfoque cuantitativo, con un nivel de investigación de tipo explicativo y el método de investigación es Experimental. Se hizo un previo estudio en campo de la zona para poder localizar y realizar la toma de muestras, con fines de investigación y siguiendo parámetros de las normas se estableció realizar 4 calicatas para poder extraer las muestras y así poder ensayarlas. Para realizar este trabajo de investigación se elaboraron ensayos en laboratorio como Granulometría, Límites de Atteberg, porcentaje de humedad, Proctor modificado y CBR, cal 1%,2%,3% y cemento 5% estas pruebas de laboratorio fueron efectuados según a los parámetros de las normas MTC E.107, E.108, E.110, E.111, E.115, E.132. Verificando los datos obtenidos de las pruebas de laboratorio, se analizó que el suelo adicionado presenta un mejoramiento en sus propiedades mecánicas, tal como se observa en la calicata 02 (suelo más desfavorable de las muestras) al adicionarle cal 1%, y cemento 5% presenta un CBR de 62.48% , el suelo con 2%cal



y 5% cemento presenta un CBR de 75.30% y el suelo con cal 3% y 5% cemento presenta un CBR 73.67% presentado a un nivel de sub rasante, las mejoras en las propiedades mecánicas son significativas cumpliendo con la norma (Pavimentos Urbanos) CE.010 y los parámetros del MTC, concluyendo que al adicionar cal 2% y cemento 5% conjuntamente tiene el mejor comportamiento frente a este tipo de suelo mejorando sus propiedades mecánicas, pero considerando que no favorece a las propiedades físicas.

Palabras clave: suelo fino, cal hidratada, cemento portland, propiedades físicas, propiedades mecánicas, CBR.



Abstract

On the Cusco-Paruro Road, problems are observed on the road such as excessive dust in dry weather, the road has plastic soil in rainy weather which can cause car accidents due to the low friction of the tires at the time of transportation on this road and also some pieces of road are detached, causing damage to the road. The objective of this research work was to evaluate to what extent the improvement of the physical-mechanical properties of the soil of the Cusco-Paruro Road will be achieved with the use of the additives, lime 1 % 2% 3% and cement 5% in order to achieve an adequate subgrade that complies with the criteria of the CE.010 standard (urban pavements) and also with the criteria of the CE. (Urban pavements) and also following the guidelines, parameters given by the MTC 2014 (Soils geology, geotechnics and pavements) , thus implementing the use of lime and cement together as an efficient soil stabilizing additive in the Cusco-Paruro road ways .This research thesis has a quantitative approach, with a research level of explanatory type and the research method is Experimental. A previous field study of the area was made in order to locate and take samples, for research purposes and following the parameters of the standards, it was established to make 4 pits in order to extract the samples and thus be able to test them. In order to carry out this research work, laboratory tests such as granulometry, plasticity limits, moisture content, modified Proctor and CBR, lime 1%, 2%, 3% and cement 5% were carried out according to the parameters of the MTC E.107, E.108, E.110, E.111, E.115, E.132 standards. Verifying the data obtained from the laboratory tests, it is analyzed that the added soil presents an improvement in its mechanical properties, as observed in test pit 02 (most unfavorable soil of the samples) with the addition of 1% lime and 5% cement presents a CBR of 62.48%. 48%, the soil with 2% lime and 5% cement presents a CBR of 75.30% and the soil with 3% lime and 5% cement presents a CBR of 73.67% presented at a subgrade level. (Urban Pavements) and the parameters



of the MTC, concluding that the addition of 2% lime and 5% cement together has the best behavior for this type of soil, improving its mechanical properties but considering that it does not favor the physical properties.

Key words: fine soil, hydrated lime, Portland cement, physical properties, mechanical properties, CBR.



~~EROSMAN V~~

Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo fino en el tramo de la carretera Cusco – Paruro mediante el uso de cal al 1, 2,3 % y cemento 5%, 2021

by Frank Stewart Mondragón Cusihuallpa,

Submission date: 27-May-2023 07:41AM (UTC-0500)

Submission ID: 2103081463

File name: TESIS_FRANK_MONDRAGON_CUSIHUALLPA_26.05.23.pdf (6.36M)

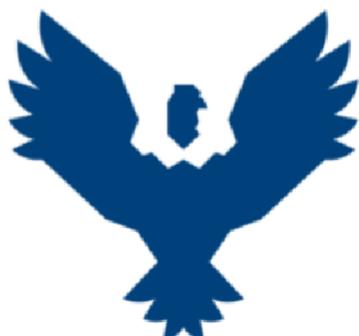
Word count: 51203

Character count: 244217



“UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO”
²
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUETICTURA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL

~~ERománV~~



**Universidad
Andina
del Cusco**

“TESIS”

Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo fino en el tramo de la carretera
Cusco - Paruro mediante el uso de cal al 1, 2,3 % y cemento 5%, 2021.²

Presentado por el Bachiller:

Mondragón CusiHuallpa, Frank Stewart

Para optar al Título profesional de

Ingeniero Civil

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

Cusco-Perú

2023



fino en el tramo de la carretera Cusco - Paruro mediante el uso de cal al 1, 2,3 % y cemento 5%, 2021

ORIGINALITY REPORT

25 %
SIMILARITY INDEX

24 %
INTERNET SOURCES

5 %
PUBLICATIONS

14 %
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	hdl.handle.net Internet Source	6 %
2	Submitted to Universidad Andina del Cusco Student Paper	6 %
3	repositorio.uandina.edu.pe Internet Source	3 %
4	repositorio.unc.edu.pe Internet Source	2 %
5	repositorio.ucv.edu.pe Internet Source	1 %
6	repositorioacademico.upc.edu.pe Internet Source	1 %
7	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Student Paper	1 %
8	repositorio.utea.edu.pe Internet Source	1 %



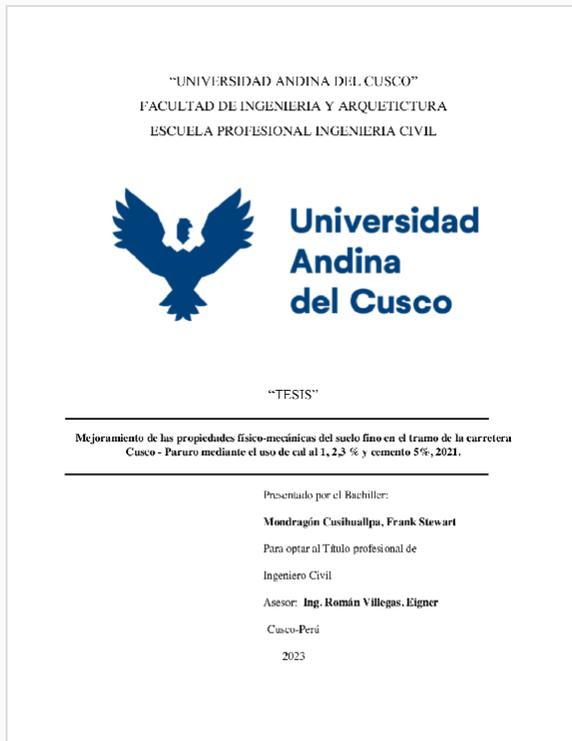
El Román V

Digital Receipt

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

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: Frank Stewart Mondragón Cusihualpa,
Assignment title: cal y memento MONDRAGON
Submission title: Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo...
File name: TESIS_FRANK_MONDRAGON_CUSIHUALLPA_26.05.23.pdf
File size: 6.36M
Page count: 281
Word count: 51,203
Character count: 244,217
Submission date: 27-May-2023 07:41AM (UTC-0500)
Submission ID: 2103081463





Introducción

El suelo es la base sustancial de todo proyecto civil, se tienen diferentes formas de utilizarlo, se lo puede utilizar como material de construcción para la elaboración de terraplenes, muros, casas, obras viales, entre otras. Por esta razón este material tiene que cumplir con estas características y propiedades para poder satisfacer las necesidades en su función.

En la vía Cusco – Paruro se observó problemas en la carretera como exceso de polvo en tiempo de secas, la carretera presenta suelo plástico en tiempos de lluvias lo cual puede generar accidentes automovilísticos por la baja fricción que tienen las llantas al momento de transportarse en esta vía y también se genera desprendimiento de algunos trozos de carretera, haciendo desperfectos en la vía.

Por este motivo en esta tesis se evaluó la aplicación de aditivos como cal y cemento como trabajan en conjunto para tratar de mejorar las propiedades de este suelo fino plástico, evaluando con este proceso y cantidades de cal y cemento, se observó si realmente aumenta o disminuye una de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de esta vía, se trabajó con el cemento portland Tipo IP de la marca Yura y cal hidratada de la marca Hades, con estos dos aditivos a diferentes porcentajes.

Para esto se desarrolló esta tesis en 6 capítulos diferentes, el capítulo uno es el planteamiento del problema donde se habla de la influencia de la tesis, explicación del problema y los objetivos. El capítulo dos trata sobre los antecedentes de la tesis, las bases teóricas, hipótesis y la definición de variables. El capítulo tres se muestra la metodología de la investigación, instrumentos, procedimiento de recolección y análisis de datos; el capítulo cuatro se encuentra los resultados de la investigación. Capítulo cinco se habla de las discusiones y el capítulo seis sobre las conclusiones.



Índice General

Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	v
Introducción.....	vii
Índice de Tablas.....	xi
Índice de Figura.....	xvii
Índice de Formulas.....	xxi
Capítulo I: Planteamiento Del Problema.....	1
1.1. Identificación del Problema.....	1
1.1.1. Descripción del problema.....	1
1.1.2. Formulación Interrogativa del Problema.....	7
1.1.2.1. Formulación Interroga del Problema General.....	7
1.1.2.2. Formulación interrogativa del problema específicos.....	7
1.2. Justificación e Importancia de la Investigación.....	7
1.2.1. Justificación Técnica.....	7
1.2.2. Justificación Social.....	8
1.2.3. Justificación por Viabilidad.....	9
1.2.4. Justificación por relevancia.....	9
1.3. Limitaciones de la investigación.....	10
1.3.1. Limitación geográfica.....	10
1.3.2. Limitaciones con respecto a materiales.....	11
1.3.3. Limitaciones de recursos.....	12
1.3.4. Limitaciones Normativas.....	12
1.3.5. Limitaciones económicas.....	12
1.3.6. Limitaciones de tiempo.....	13
1.4. Objetivo de la investigación.....	13
1.4.1. Objetivo general.....	13
1.4.2. Objetivos específicos.....	13
Capítulo II: Marco Teórico.....	14
2.1. Antecedentes de la tesis o Investigación Actual.....	14
2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional.....	14
2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional.....	16
2.2. Aspectos Teóricos.....	18
2.2.1. Subrasante o Explanada.....	18
2.2.1.1. Característica Fundamental de la Subrasante.....	18
2.2.1.2. Interrelación Subrasante – Pavimento.....	19
2.2.2. Propiedades Físicas y Mecánicas del Suelo.....	20
2.2.2.1. Propiedades Físicas.....	20
2.2.2.2. Propiedades Mecánicas.....	25
2.2.3. Aditivos para Estabilizar el Suelo.....	28
2.2.3.1. Cemento.....	28
2.2.3.2. Cal.....	34
2.2.4. Naturaleza de los Suelos cohesivos.....	37
2.2.4.1. Minerales arcillosos.....	38
2.2.4.2. Propiedades de las arcillas.....	39
2.2.5. Estabilización de suelos.....	41
2.2.5.1. Estabilización por combinación de suelos.....	42
2.2.5.2. Estabilización por sustitución de suelos.....	42



2.2.5.3.	Estabilización de suelos con cal.....	42
2.2.5.4.	Estabilización de suelos con cemento.....	43
2.2.5.5.	Estabilización con escoria.....	44
2.2.5.6.	Estabilización por compactación.....	45
2.2.5.7.	Estabilización por geo sintéticos.....	45
2.3.	Hipótesis.....	46
2.3.1.	Hipótesis General.....	46
2.3.2.	Sub Hipótesis.....	46
2.4.	Definición de Variables.....	46
2.4.1.	Variables Independientes.....	46
2.4.2.	Variables Dependientes.....	46
2.4.3.	Cuadro operacional de variables.....	47
Capítulo III: Metodología.....		48
3.1.	Metodología de Investigación.....	48
3.1.1.	Enfoque de la Investigación.....	48
3.1.2.	Nivel o Alcance de la Investigación.....	48
3.1.3.	Método de Investigación.....	48
3.1.4.	Técnicas de Recolección de Información.....	49
3.1.5.	Técnicas de Análisis de Datos.....	49
3.2.	Diseño de la Investigación.....	50
3.2.1.	Diseño Metodológico.....	50
3.2.2.	Diseño de Ingeniería.....	51
3.3.	Población y Muestra.....	52
3.3.1.	Población.....	52
3.3.1.1.	Descripción de Población.....	52
3.3.1.2.	Cuantificación de Población.....	52
3.3.2.	Muestra.....	52
3.3.2.1.	Descripción de la Muestra.....	52
3.3.2.2.	Cuantificación de la Muestra.....	54
3.3.2.3.	Método de Muestreo.....	55
3.3.2.4.	Criterios de Evaluación de Muestra.....	55
3.3.3.	Criterios de Inclusión.....	55
3.4.	Instrumentos.....	56
3.4.1.	Instrumentos metodológicos o Instrumentos de Recolección de datos.....	56
3.4.1.1.	Instrumentos metodológicos para ensayo de Granulometría.....	56
3.4.1.2.	Instrumentos Metodológicos para Clasificación de Suelos.....	59
3.4.1.3.	Instrumentos Metodológicos de Datos para Ensayo de Contenido de Humedad.....	64
3.4.1.4.	Instrumentos Metodológicos para Ensayo de Limite Líquido y Limite Plástico.....	65
3.4.1.5.	Instrumentos Metodológicos para Ensayo de Proctor Modificado.....	66
3.4.1.6.	Instrumentos Metodológicos para Ensayo de CBR.....	68
3.4.2.	Instrumentos de Ingeniería.....	72
3.5.	Procedimientos de Recolección de Datos.....	74
3.5.1.	Ensayo de Granulometría (MTC E.107).....	74
3.5.2.	Clasificación SUCS.....	75
3.5.3.	Clasificación ASSHTO.....	77
3.5.4.	Evaluación del Contenido de Humedad (MTC E.108).....	78
3.5.5.	Evaluación del Limite Líquido (MTC E.110).....	78
3.5.6.	Evaluación del Limite Plástico (LP) e Índice de Plasticidad (IP) (MTC E.111).....	80
3.5.7.	Evaluación de Compactación – Prueba Proctor Modificado, Método “A” (MTC E.115).....	81
3.5.8.	Evaluación CBR de Suelos en Laboratorio (MTC E.132).....	82
3.6.	Procedimiento de Análisis de datos.....	84



3.6.1.	Ensayo de Granulometría.....	84
3.6.1.1.	Procesamiento y Cálculos ensayo de Granulometría	84
3.6.1.2.	Análisis de la Prueba.....	89
3.6.2.	Clasificación de Suelos	89
3.6.2.1.	Procesamiento y Cálculos Método AASTHO y SUCS.....	89
3.6.2.2.	Análisis de la prueba	94
3.6.3.	Contenido de Humedad.....	94
3.6.3.1.	Procesamiento y Cálculos	94
3.6.3.2.	Análisis de la Prueba.....	96
3.6.4.	Limite Líquido	96
3.6.4.1.	Procesamiento y Cálculos	96
3.6.4.2.	Análisis de la Prueba.....	105
3.6.5.	Limite Plástico	106
3.6.5.1.	Procesamiento y cálculos	106
3.6.5.2.	Análisis de la Prueba.....	111
3.6.6.	Índice de Plasticidad	112
3.6.6.1.	Procesamiento y Cálculos	112
3.6.6.2.	Análisis de la Prueba.....	113
3.6.7.	Proctor Modificado	113
3.6.7.1.	Procesamiento y Cálculos	113
3.6.7.2.	Análisis de la Prueba.....	134
3.6.8.	Ensayo CBR en Laboratorio	135
3.6.8.1.	Procesamiento y Cálculos	135
3.6.8.2.	Análisis de la Prueba.....	208
3.6.9.	Análisis Estadístico.....	209
3.6.10.	Análisis de Costos Unitarios Estimados	221
Capítulo IV:Resultados.		224
4.1.	Ensayo de Clasificación de Suelos.....	224
4.2.	Ensayo de Límites de Atteberg	227
4.3.	Ensayo Proctor Modificado (método A).....	228
4.4.	Ensayo de CBR.....	231
Capítulo V:Discusión.		234
Glosario.....		236
Conclusiones		237
Recomendaciones		240
Referencias.....		241
Anexos		247



Índice de Tablas

Tabla 1: <i>Ubicación Geográfica de la Carretera Cusco-Paruro</i>	11
Tabla 2: <i>Ensayos a Realizar</i>	12
Tabla 3: <i>Clasificación de Suelos según al Tamaño de las Partículas</i>	21
Tabla 4: <i>Signos Convencionales para Perfiles de Calicatas – Clasificación S.U.C.S.</i>	22
Tabla 5: <i>Clasificación de Suelos Basados en AASHTO M 145</i>	23
Tabla 6: <i>Clasificación de Suelos Según el Índice de Plasticidad</i>	25
Tabla 7: <i>Categorías de Sub Rasante en Función a su Índice de CBR</i>	27
Tabla 8: <i>Composición Química del Clinker (% en Masa)</i>	29
Tabla 9: <i>Condiciones Mínimas del Cemento del Cemento Portland Tipo I, Cementos Yura</i>	32
Tabla 10: <i>Ventajas y Desventajas de los Tres Tipos de Cales para Tratamiento de Suelos</i>	34
Tabla 11: <i>Ejemplos de Superficie Específica de Algunas Arcillas</i>	39
Tabla 12: <i>Cuadro Operacional de Variable</i>	47
Tabla 13: <i>Ubicación Geográfica de las Calicatas Excavadas</i>	52
Tabla 14: <i>Cuantificación de las Muestras de Mejoramiento de Suelo con Cal 1;2;3% y Cemento 5%</i>	54
Tabla 15: <i>Sistema Unificado de Clasificación de Suelos</i>	62
Tabla 16: <i>Clasificación de Suelos AASHTO</i>	63
Tabla 17: <i>Mallas para el Ensayo de Granulometría</i>	74
Tabla 18: <i>Sistema Unificado de Clasificación de Suelos</i>	76
Tabla 19: <i>Clasificación de Suelos Basado en AASHTO M145</i>	77
Tabla 20: <i>Granulometría de la Calicata 01</i>	85
Tabla 21: <i>Granulometría de la Calicata 02</i>	86



Tabla 22: <i>Granulometría de la Calicata 03.</i>	87
Tabla 23: <i>Granulometría de la Calicata 04.</i>	88
Tabla 24: <i>Clasificación de Suelos de la Calicata N°1.</i>	89
Tabla 25: <i>Clasificación de Suelo de la Calicata N°2.</i>	90
Tabla 26: <i>Clasificación de Suelo de la Calicata N°3.</i>	90
Tabla 27: <i>Clasificación de Suelo de la Calicata N°4.</i>	91
Tabla 28: <i>Ubicación de los Suelos para a Clasificación según SUCS.</i>	92
Tabla 29: <i>Ubicación de los Suelos para la Clasificación según AASTHO.</i>	93
Tabla 30: <i>Contenido de Humedad de la Calicata 01.</i>	94
Tabla 31: <i>Contenido de Humedad de la Calicata 02.</i>	95
Tabla 32: <i>Contenido de Humedad de la Calicata 03.</i>	95
Tabla 33: <i>Contenido de Humedad de la Calicata 04.</i>	95
Tabla 34: <i>Limites Liquido de la Calicata 01.</i>	97
Tabla 35: <i>Limite Liquido de la Calicata 02 - Suelo más Desfavorable.</i>	97
Tabla 36: <i>Limite Liquido de la Calicata 03.</i>	98
Tabla 37: <i>Limite Liquido de la Calicata 04.</i>	98
Tabla 38: <i>Limite Liquido de la Calicata 02- Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.</i>	99
Tabla 39: <i>Limite Liquido de Calicata 02-Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.</i>	100
Tabla 40: <i>Limite Liquido de Calicata 02 -Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.</i>	100
Tabla 41: <i>Contraste de Análisis de Datos de Calicata 02- Suelo más Desfavorable más Aditivos.</i>	101
Tabla 42: <i>Limite Liquido de Calicata 04 -Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.</i>	102
Tabla 43: <i>Limite Liquido de Calicata 02-Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.</i>	103



Tabla 44: <i>Limite Liquido de Calicata 04 -Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.</i>	103
Tabla 45: <i>Contraste de Análisis de Datos de Calicata 04- Suelo más Aditivos.</i>	104
Tabla 46: <i>Análisis de Datos de Limite Liquido.</i>	105
Tabla 47: <i>Análisis de Datos de Limite Plástico.</i>	106
Tabla 48: <i>Limite Plástico de la Calicata 01.</i>	106
Tabla 49: <i>Limite Plástico de la Calicata 02-Suelo más Desfavorable.</i>	107
Tabla 50: <i>Limite Plástico de la Calicata 03.</i>	107
Tabla 51: <i>Limite Plástico de la Calicata 04.</i>	107
Tabla 52: <i>Limite Plástico de la Calicata 02- Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.</i>	108
Tabla 53: <i>Limite Plástico de la Calicata 02-Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.</i>	108
Tabla 54: <i>Limite Plástico de la Calicata 02-Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.</i>	109
Tabla 55: <i>Contraste de Análisis de Datos de la Calicata 02 -Suelo más Desfavorable más Aditivos.</i>	109
Tabla 56: <i>Limite Plástico de la Calicata 04- Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.</i>	110
Tabla 57: <i>Limite Plástico de la Calicata 04-Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.</i>	110
Tabla 58: <i>Limite Plástico de la Calicata 04-Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.</i>	111
Tabla 59: <i>Contraste de Análisis de Datos de la Calicata 04 -Suelo más Aditivos.</i>	111
Tabla 60: <i>Contraste de Resultados de Índice de Plasticidad de la Calicata 02-Suelo más Desfavorable más Aditivo.</i>	112
Tabla 61: <i>Resultado de Índice de Plasticidad de la Calicata N°4.</i>	112
Tabla 62: <i>Proctor Modificado de la Calicata 01.</i>	114
Tabla 63: <i>Proctor Modificado de la Calicata 01 más 1% Cal y 5% Cemento.</i>	115
Tabla 64: <i>Proctor Modificado de la Calicata 01 más 2% Cal y 5% Cemento.</i>	116



Tabla 65: <i>Proctor Modificado de la Calicata 01 más 3% Cal y 5% Cemento.</i>	117
Tabla 66: <i>Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 01 – Suelo más Aditivos.</i>	118
Tabla 67: <i>Proctor Modificado de la Calicata 02 – Suelo más Desfavorable.</i>	119
Tabla 68: <i>Proctor Modificado de la Calicata 02 – Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.</i>	120
Tabla 69: <i>Proctor Modificado de la Calicata 02 – Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.</i>	121
Tabla 70: <i>Proctor Modificado de la Calicata 02 – Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.</i>	122
Tabla 71: <i>Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 02 – Suelo más Desfavorable más Aditivos.</i>	123
Tabla 72: <i>Proctor Modificado de la Calicata 03.</i>	124
Tabla 73: <i>Proctor Modificado de la Calicata 03 – Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.</i>	125
Tabla 74: <i>Proctor Modificado de la Calicata 03 – Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.</i>	126
Tabla 75: <i>Proctor Modificado de la Calicata 03 – Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.</i>	127
Tabla 76: <i>Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 03 – Suelo más Aditivos.</i>	128
Tabla 77: <i>Proctor Modificado de la Calicata 04.</i>	129
Tabla 78: <i>Proctor Modificado de la Calicata 04 – Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.</i>	130
Tabla 79: <i>Proctor Modificado de la Calicata 04 – Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.</i>	131
Tabla 80: <i>Proctor Modificado de la Calicata 04 – Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.</i>	132
Tabla 81: <i>Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 04 – Suelo más Aditivos.</i>	133
Tabla 82: <i>(CBR) de la Calicata 01.</i>	136
Tabla 83: <i>(CBR) de la Calicata 01 -Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.</i>	140
Tabla 84: <i>(CBR) de la Calicata 01 -Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.</i>	144
Tabla 85: <i>(CBR) de la Calicata 01 -Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.</i>	148



Tabla 86: <i>Comparativa de los Resultados de los Ensayos de CBR de la Calicata 01 – Suelo más Aditivos.</i>	152
Tabla 87: <i>(CBR) de la Calicata 02 – Suelo más Desfavorable.</i>	154
Tabla 88: <i>(CBR) de la Calicata 02 -Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.</i>	158
Tabla 89: <i>(CBR) de la Calicata 02 -Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.</i>	162
Tabla 90: <i>(CBR) de la Calicata 02 -Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.</i>	166
Tabla 91: <i>Comparativa de los Resultados de los Ensayos de CBR de la Calicata 02 – Suelo más Desfavorable más Aditivos.</i>	170
Tabla 92: <i>(CBR) de la Calicata 03.</i>	172
Tabla 93: <i>(CBR) de la Calicata 03 -Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.</i>	176
Tabla 94: <i>(CBR) de la Calicata 03 -Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.</i>	180
Tabla 95: <i>(CBR) de la Calicata 03 -Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.</i>	184
Tabla 96: <i>Comparativa de los Resultados de los Ensayos de CBR de la Calicata 03 – Suelo más Aditivos.</i>	188
Tabla 97: <i>(CBR) de la Calicata 04</i>	190
Tabla 98: <i>(CBR) de la Calicata 04 -Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.</i>	194
Tabla 99: <i>(CBR) de la Calicata 04 -Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.</i>	198
Tabla 100: <i>(CBR) de la Calicata 04 -Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.</i>	202
Tabla 101: <i>Comparativa de los Resultados de los Ensayos de CBR de la Calicata 04 – Suelo más Aditivos.</i>	206
Tabla 102: <i>Cuadro de Análisis de la Prueba.</i>	208
Tabla 103: <i>Resumen de datos de las variables.</i>	209
Tabla 103: <i>Estadística del índice de plasticidad.</i>	210



Tabla 104: <i>Análisis de varianza de COH con respecto a la Cal</i>	212
Tabla 105: <i>Análisis de varianza de COH con respecto el cemento.</i>	213
Tabla 106: <i>Análisis de varianza de DMS con respecto a la cal.</i>	214
Tabla 107: <i>Análisis de varianza de DMS con respecto el cemento.</i>	215
Tabla 108: <i>Análisis de varianza de CBR con respecto a la cal.</i>	216
Tabla 109: <i>Estimación de los parámetros del ajuste de la cal con el CBR.</i>	217
Tabla 110: <i>Análisis de varianza de CBR con respecto el cemento.</i>	218
Tabla 111: <i>Análisis de varianza de la expansión con respecto a la cal.</i>	219
Tabla 112: <i>Análisis de varianza de expansión con respecto el cemento.</i>	220
Tabla 113: <i>Análisis de Costos Unitarios del Suelo con la Adición de Cal 1% y Cemento 5%.</i> .	221
Tabla 114: <i>Análisis de Costos Unitarios del Suelo con la Adición de Cal 2% y Cemento 5%.</i> .	222
Tabla 115: <i>Análisis de Costos Unitarios del Suelo con la Adición de Cal 3% y Cemento 5%.</i> .	223
Tabla 116: <i>Clasificación de Suelos de las Calicatas 01, 02, 03 y 04 según AASTHO.</i>	225
Tabla 117: <i>Clasificación de Suelos de las Calicatas 01, 02, 03 y 04 según SUCS.</i>	226
Tabla 118: <i>Resultado de Índice de Plasticidad de la Calicata 02 y Calicata 04 – Suelo más Aditivo.</i>	227
Tabla 119: <i>Resultados de Contenido de Humedad Optima y Densidad Seca Máxima de la Calicata 01;02;03 y 04 – Suelo más Aditivo.</i>	229
Tabla 120: <i>Conclusión General - Resultados de los Ensayos.</i>	237
Tabla 121: <i>Conclusión 01 - Resultados del Ensayo de Plasticidad.</i>	238
Tabla 122: <i>Conclusión 02 – Resultado de Densidad Máxima Seca.</i>	239
Tabla 123: <i>Conclusión 03 – Resultado de la Relación CBR.</i>	239
Tabla 124: <i>Matriz de Consistencia.</i>	247



Índice de Figura

Figura 1: <i>Ubicación de las Comunidades Presentes en la Ruta de la Carretera Cusco – Paruro.</i>	1
Figura 2: <i>Carretera Cusco-Paruro 01.</i>	2
Figura 3: <i>Carretera Cusco – Paruro 02.</i>	3
Figura 4: <i>Presencia de Vehículos de Alto Tonelaje en la Carretera Cusco – Paruro.</i>	3
Figura 5: <i>Fotografía del Accidente en la Carretera Cusco – Paruro.</i>	4
Figura 6: <i>Concentración Promedio Diario PM2.5 en Ciudades 2013-2014 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).</i>	6
Figura 7: <i>Ubicación de la Carretera Cusco – Paruro en el Mapa de la Ciudad del Cusco 01.</i>	10
Figura 8: <i>Ubicación de la Carretera Cusco – Paruro en la Ciudad del Cusco 02.</i>	11
Figura 9: <i>Transferencia de la Carga de una Rueda a Través de la Subrasante.</i>	20
Figura 10: <i>Límites de Plasticidad y Variabilidad del Volumen de Masa del Suelo.</i>	24
Figura 11: <i>Grado de Humedad para Obtener el Peso Volumétrico Máximo.</i>	26
Figura 12: <i>Floculación de las Partículas del Suelo Fino.</i>	36
Figura 13: <i>Reacción Puzolánica del Suelo y la Cal.</i>	37
Figura 14: <i>Diagrama de las Estructuras de (a) Caolinitas ;(b) Ilita; (c) Montmorilonita.</i>	39
Figura 15: <i>Teoría de la Película de Agua.</i>	41
Figura 16: <i>Estabilización de Suelos con Cal.</i>	43
Figura 17: <i>Aplicación de Estabilización Suelo Cemento Ciudad de Salto -Uruguay.</i>	44
Figura 18: <i>Estabilización con Geo Sintéticos.</i>	45
Figura 19: <i>Ubicación Geográfica de las Muestras Extraídas.</i>	53
Figura 20: <i>Enseres para Ensayo Límites de Atterberg.</i>	72
Figura 21: <i>Enseres para Ensayo de Granulometría.</i>	72
Figura 22: <i>Enseres para el Ensayo de Proctor Modificado.</i>	73
Figura 23: <i>Enseres para el Ensayo de CBR.</i>	73



Figura 24: <i>Carta de Plasticidad Casa Grande.</i>	75
Figura 25: <i>Ubicación de los Suelos en la Carta de Plasticidad de Casagrande.</i>	91
Figura 26: <i>Número de muestras por calicata.</i>	209
Figura 27: <i>Estadística de las dosis aplicadas</i>	210
Figura 28: <i>Estadística de los ensayos de índice de plasticidad.</i>	211
Figura 29: <i>Estadística del contenido natural de humedad de las muestras extraídas</i>	211
Figura 30: <i>Análisis univariante de COH con respecto a la Cal.</i>	212
Figura 31: <i>Análisis univariante de COH con respecto al cemento.</i>	213
Figura 32: <i>Análisis univariante de DMS con respecto a la Cal.</i>	214
Figura 33: <i>Análisis univariante de DMS con respecto al cemento.</i>	215
Figura 34: <i>Análisis univariante de CBR con respecto a la Cal.</i>	216
Figura 35: <i>Regresión no lineal del efecto de la cal en el CBR.</i>	217
Figura 36: <i>Análisis univariante de CBR con respecto al cemento.</i>	218
Figura 37: <i>Análisis univariante de la expansión con respecto a la Cal.</i>	219
Figura 38: <i>Análisis univariante de la expansión con respecto al cemento.</i>	220
Figura 39: <i>Resultado de Índice de Plasticidad Calicata 02 y Calicata 04, Suelos más Aditivos.</i>	228
Figura 40: <i>Resultado del Contenido de Humedad Optimo de la Calicata 01; 02; 03 y 04, suelo más Aditivo.</i>	230
Figura 41: <i>Resultado de la Densidad Máxima seca de la Calicata 01; 02; 03 y 04, Suelo más Aditivo.</i> .	231
Figura 42: <i>Resultado de Expansión de la Calicata 02, Suelo más Aditivo.</i>	232
Figura 43: <i>Resultado de CBR de la Calicata 01;02;03 y 04, Suelo más Aditivo.</i>	233
Figura 44: <i>Ficha de Laboratorio donde se Realizó los Ensayos, Proycon Silver Laboratorio.</i>	249
Figura 45: <i>Ficha de Laboratorio donde se Realizó los Ensayos, Geosil Laboratorio.</i>	250
Figura 46: <i>Excavación y Toma de Muestras de las Diferentes Calicatas.</i>	251
Figura 47: <i>Presentación de los Trozos de Suelo Arcilloso de la Muestra Extraída.</i>	251
Figura 48: <i>Cuarteo de la Muestra Extraída de las Diferentes Calicatas.</i>	252



Figura 49: <i>Lavado de las Muestras de Suelo de las Calicatas para el Ensayo de Granulometría.</i>	252
Figura 50: <i>Ejecución del Ensayo de Granulometría de Suelo Fino.</i>	253
Figura 51: <i>Ejecución del Ensayo de Limite Liquido de las Muestras de Suelo.</i>	253
Figura 52: <i>Ejecución del Ensayo de Limite Plástico de las Muestras de Suelo.</i>	254
Figura 53: <i>Mezclado del Suelo con la Combinación Conjunta Cal y el Cemento.</i>	254
Figura 54: <i>Preparación de los Moldes para el Ensayo de Proctor.</i>	255
Figura 55: <i>Ejecución del Ensayo de Proctor Modificado</i>	255
Figura 56: <i>Combinación del Suelo más Cal y Cemento Conjuntamente.</i>	256
Figura 57: <i>Ejecución del Ensayo de CBR (01).</i>	256
Figura 58: <i>Ejecución del Ensayo de CBR (02).</i>	257
Figura 59: <i>Ejecución del Ensayo de Penetración, CBR.</i>	257
Figura 60: <i>Muestra luego del Ensayo de Penetración.</i>	258
Figura 61: <i>Consistencia del Suelo más Cal y Cemento para el Ensayo de Límites.</i>	258
Figura 62: <i>Ejecución del Ensayo de Limite Plástico de las Muestras de Suelo -02.</i>	259
Figura 63: <i>Ejecución del Ensayo de Penetración, CBR- 02.</i>	259
Figura 64: <i>Solicitud de Información a la Gerencia Regional de Transportes y Comunicaciones.</i>	260



Índice de Formulas

Formula 1: <i>Porcentaje Retenido</i>	84
Formula 2: <i>Porcentaje Retenido Acumulado</i>	85
Formula 3: <i>Porcentaje Pasa</i>	85
Formula 4: <i>Contenido de Humedad</i>	94
Formula 5: <i>Límite Líquido</i>	96
Formula 6: <i>Límite Plástico</i>	106
Formula 7: <i>Índice de Plasticidad</i>	112
Formula 8: <i>Densidad Húmeda del Espécimen Compactado (ρ_m)</i>	113
Formula 9: <i>Porcentaje de Expansión</i>	135
Formula 10: <i>Relación de Soporte Corregido CBR (0.1")</i>	135
Formula 11: <i>Relación de Soporte Corregido CBR (0.2")</i>	135

Capítulo I:

Planteamiento Del Problema

1.1. Identificación del Problema

1.1.1. Descripción del problema

De acuerdo al expediente técnico de mantenimiento de la carretera a cargo de la dirección regional de transportes y comunicaciones Cusco (2021):

Esta carretera es una de las principales vías que conecta Cusco – Paruro, por el cual habitan comunidades como Collparopampa, Soncco Grande, Conchacalla y Mayubamba. Las cual tienen como principal fuente económica la ganadería y agricultura. La población depende de esta vía, ya que la usa para transportarse, transportar mercadería, ganadería y materiales de construcción. Esta carretera se caracteriza por tener un aforo vehicular medio, pero con la presencia de vehículos como camionetas y camiones de alto tonelaje. (pp.2-3)

Figura 1:

Ubicación de las Comunidades Presentes en la Ruta de la Carretera Cusco – Paruro.



Nota: Adaptado de Google Earth, Edición Propia. Google. (s.f. -a), Edición Propia

La situación actual en el año 2021, en la carretera de Cusco-Paruro se puede observar un suelo muy fino el cual es un problema para la población y el tránsito vehicular, en época de seca



genera mucho polvo y en épocas de lluvias tiene una característica superficialmente saturada, también se genera desprendimiento de la superficie de la carretera por el paso de vehículos pesados lo que hace una superficie de geometría irregular, lo que conlleva a hacer una reparación del suelo de esta carretera cada periodo de tiempo interrumpiendo el libre paso vehicular y mayores costos para su mantenimiento.

El mantenimiento que se le da a esta carretera según el expediente técnico, a cargo de la dirección regional de transportes y comunicaciones Cusco (2021):

El mantenimiento se da los 30 primeros kilómetros de la carretera Cusco – Paruro, El costo de mantenimiento es de 1,596,500 nuevos soles, que es financiado por Provias descentralizada, se encargan de la formulación y ejecución la dirección regional de transportes y comunicaciones (Drtcc). Este mantenimiento se hace en un periodo de 3 años con una duración de 60 días. (pp.2-18)

Figura 2:

Carretera Cusco-Paruro 01.



Nota: Foto tomada de la carretera después de la presencia de una fuerte lluvia, 13 de diciembre del 2021



Figura 3:

Carretera Cusco – Paruro 02.



Nota: Imagen capturada en la fecha 13 de diciembre del 2021.

Figura 4:

Presencia de Vehículos de Alto Tonelaje en la Carretera Cusco – Paruro.



Nota: Vehículos que provocan el desprendimiento de suelo y deformación de este, 13 de diciembre 2021.



Si este problema persiste puede generar accidentes vehiculares, pérdidas económicas o pérdidas de vida, por ser irregular al desprenderse trozos de carretera, deslizante en temporadas de precipitaciones y no dar una clara visibilidad de la carretera.

En esta carretera ya ha ocurrido accidentes como por ejemplo el publicado en el diario el Comercio, 3 mueren tras caída de auto a un abismo en San Jerónimo (2017):

El despiste y vuelco de un auto en la carretera Cusco – Paruro, sector conocido como Campanayoc jurisdicción de la comunidad Ccahuapata del distrito de san Jerónimo, dejó tres personas fallecidas.

El accidente se registró aproximadamente a las 7 a.m. el chofer de la unidad, con matrícula X3U-156, Jhon Orosco Tupa, habría perdido el control por causas que se desconocen, y cayó a un abismo de al menos 400 metros de profundidad. (párr.1-2)

Figura 5:

Fotografía del Accidente en la Carretera Cusco – Paruro.



Nota: Adaptado de la noticia “3 mueren tras caída de auto a un abismo en San Jerónimo”, por el Diario el Comercio ,2017, Cusco - Perú.



Otro accidente que ocurrió y se menciona en el diario RPP con la noticia, Dos comerciantes murieron en accidente en la vía cusco – Paruro (2013), “Dos comerciantes puneños murieron tras el despiste y vuelco de una camioneta rural que cayó a un abismo de 300 metros en el distrito de San Jerónimo, kilómetro 5 de la vía Cusco – Paruro”. (párr.1)

Esta carretera también puede conllevar problemas a la salud venideras en las comunidades por la presencia de polvo, ocasionadas y desplazadas por el movimiento de los vehículos.

Según el informe nacional de calidad del aire, publicado por el Ministerio del ambiente (2014):

El material particulado es una mezcla de partículas sólidas microscópicas y gotas líquidas suspendidas en el aire (aerosoles), el cual se clasifica de acuerdo a su tamaño, en partículas con diámetro menor a 10 micras, 2,5 micras y 1 micra.

Investigaciones proveen evidencias de la relación causal entre la presencia del material particulado con la mortalidad prematura de causa cardiovascular, respiratoria y cáncer pulmonar y efectos en la morbilidad como incremento de las admisiones hospitalarias por cardiopatía coronaria, insuficiencia cardíaca, asma bronquial, enfermedades pulmonares obstructiva crónica (EPOC), efectos sobre el peso al nacer, la tasa de prematuridad, etc. (p.17)

De acuerdo con el informe titulado “Materia Particulada (PM10 y PM2.5)” por Murcia salud (2022) afirma que:

El PM2,5 tiene efectos más severos sobre la salud que los PM10, ya que son partículas más pequeñas y respirables a la vez más tóxicas, son ligeros y permanecen más tiempo en el aire también fácil su transporte por el movimiento de los autos. (párr.3-4)

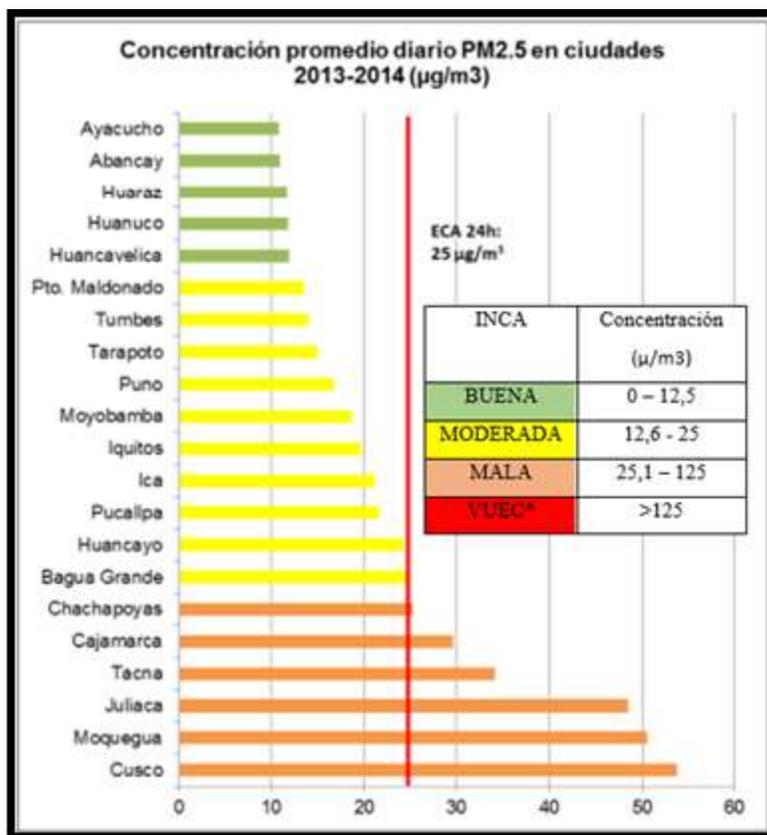
Según de Ministerio del ambiente (2014) “Los valores de estándares de calidad ambiental (ECA) para material particulado es: PM10:150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 hrs) y PM2,5: 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 hrs)” (p.17).

Según el informe nacional de calidad del aire, publicado por el ministerio del ambiente (2014):

Para el ranking de ciudades referidas al parámetro PM_{2,5} se tiene información de monitoreos puntuales de 21 ciudades realizados entre 2013 y 2014, los resultados muestran que 6 ciudades pertenecen a la categoría mala, excediendo el valor del ECA, estas son chachapoyas, Cajamarca, Tacna, Juliaca, Moquegua y Cusco. Estos datos se pueden observar en la siguiente figura. (p.41).

Figura 6:

Concentración Promedio Diario PM_{2.5} en Ciudades 2013-2014 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Nota: Adaptado de Informe nacional de la calidad del aire (p.41), por Ministerio del ambiente ,2014, Lima - Perú.



Por la situación actual y los problemas expuestos, la presente investigación quiso evaluar el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de este suelo fino en el tramo de la carretera Cusco – Paruro mediante el uso de cal 1, 2, 3% y cemento 5% en el año 2021, para poder prevenir y evitar estos problemas que tiene influencia en los vehículos, vida humana, la economía de las autoridades y de la población.

1.1.2. Formulación Interrogativa del Problema

1.1.2.1. Formulación Interroga del Problema General

¿En qué medida mejora las propiedades físico – Mecánicas del suelo fino de la carretera Cusco – Paruro al adicionarle cal al 1, 2, 3% y cemento 5% en el año 2021?

1.1.2.2. Formulación interrogativa del problema específicos

Problema Especifico 01: ¿En qué medida mejora las propiedades de plasticidad del suelo fino de la carretera Cusco – Paruro al adicionarle cal al 1, 2, 3% y cemento 5% en el año 2021?

Problema Especifico 02: ¿En qué medida mejora la densidad seca máxima del suelo fino de la carretera Cusco – Paruro al adicionarle cal al 1, 2, 3 % y cemento 5% en el año 2021?

Problema Especifico 03: ¿En qué medida mejora el soporte de california CBR del suelo fin de la carretera Cusco – Paruro al adicionarle cal al 1, 2, 3% y cemento 5% en el año 2021?

1.2. Justificación e Importancia de la Investigación.

1.2.1. Justificación Técnica

La carretera de estudio tiene problemas de ser barrosa, deslizante en momentos de lluvias y tiene mucho polvo en momento de secas, por lo cual es necesario conocer el comportamiento del suelo de esta carretera con el uso de menores porcentajes de cal hidratada 1%, 2%, 3% y cemento portland tipo IP 5%, para lograr mejorar las propiedades físico-mecánicas del suelo de la carretera Cusco – Perú , así poder evitar accidentes automovilísticos como ya ocurrieron en esta



carretera y también evitar problemas de salud por material particulado que es peligroso para la salud según el Ministerio del ambiente.

En consideración que la carretera Cusco – Paruro es una vía principal de movimiento económico para el transporte de comercio y ganadería, por eso se hace importante conocer las características geotécnicas del suelo de esta carretera para poder mejorar los problemas que esta tiene con la aplicación de aditivos.

Estos aditivos usados son la cal hidratada y el cemento portland Tipo IP, dos aditivos que son buenos para suelos con alto índice de plasticidad y bajos niveles de resistencia CBR según el MTC (2014).

En el reglamento del MTC (2014) si bien existe una guía sobre el uso de aditivos en los diferentes tipos de suelos, no existe una clara información sobre el porcentaje exacto y tampoco el comportamiento de la combinación de aditivos en un suelo, las cuales se tiene que evaluar en laboratorio y con un proceso de análisis ,observar el cambio de los valores de las propiedades físico - mecánicas de un suelo, por esta razón se hizo la evaluación conjunta de menores porcentajes de cal hidratada y cemento portland IP. Por lo expuesto la actual investigación se justifica desde el punto de vista técnico.

1.2.2. Justificación Social

La carretera Cusco – Paruro en el presente año (2021) de desarrollo de la investigación tiene ciertas deficiencias en sus propiedades físico - mecánicas como los ya observados, que afecta a los transportistas al momento de maniobrar a causa de un suelo deslizante en presencia de lluvias, dándoles inseguridad y desconfianza. Afecta también a las comunidades aledañas (Collparopampa, Soncco Grande, Conchacalla, Mayubamba) y población en general por la presencia de material particulado PM2.5 que puede generar problemas a la salud según el



ministerio del ambiente. Las personas mencionadas son las más beneficiadas gracias a esta investigación que es el mejoramiento de las propiedades físico – mecánicas de la carretera Cusco-Paruro con cal 1%, 2%, 3% y cemento 5%.

A si mismo esta investigación contribuye en la información para ingenieros profesionales, estudiantes de Ingeniería Civil y cualquier investigador de mejoramiento de suelos, ya que puede tomar en cuenta la combinación conjunta de cal hidratada y cemento portland tipo IP usando menores porcentajes de estos aditivos. Los procedimientos y análisis de esta investigación pueden ser extensivos a cualquier entidad de ejecución de proyectos en el sector privado o público de nuestra región.

1.2.3. Justificación por Viabilidad

La actual tesis tiene acceso a normas técnicas peruanas e internacionales como: MTC (2014) “suelos, geología, geotecnia y pavimentos: sección suelos y pavimentos”; norma CE.010 “pavimentos urbanos”, AASHTO “American Association of state highway and transportation officials”, ASTM “American Society for testing and materials”, entre otras normas.

También se tiene acceso a la carretera, equipos de laboratorio de una entidad privada “Praycon Silver”, acceso a la cal, al cemento y a la información de ingeniería en las bibliotecas.

1.2.4. Justificación por relevancia

Esta investigación posee la relevancia por la seguridad y un mejor transporte de que se intenta mejorar la carretera Cusco – Paruro que es una vía de transporte importante y medio económico para diferentes comunidades y ciudades, usando aditivos tales como son la cal y el cemento que se tienen fácil acceso y económicamente asequibles a comparación a otros aditivos, la importancia también radica en haber buscado una optimización en la combinación de

porcentajes bajos de cal y cemento que puedan mejorar significativamente las propiedades de este tipo de suelo de la carretera Cusco – Paruro.

1.3. Limitaciones de la investigación

1.3.1. Limitación geográfica.

Se entiende como limitación geográfica a la zona de estudio donde se realizó el trabajo de investigación, siendo este la carretera Cusco – Paruro en el distrito de San Jerónimo en Cusco, desde la vía de evitamiento hasta la comunidad Collparopampa.

Figura 7:

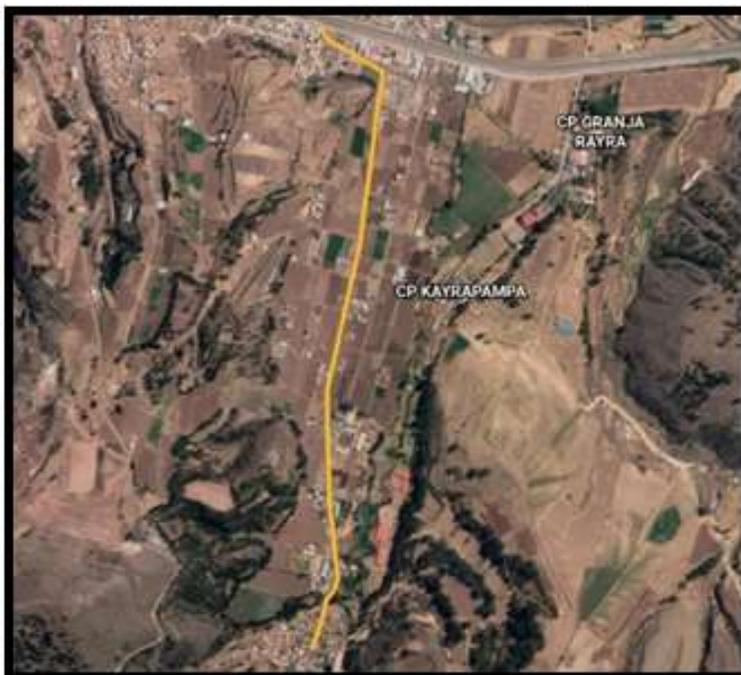
Ubicación de la Carretera Cusco – Paruro en el Mapa de la Ciudad del Cusco 01.



Nota: Adaptado de Google Earth, edición propia. Google. (s.f. -b)

Figura 8:

Ubicación de la Carretera Cusco – Paruro en la Ciudad del Cusco 02.



Nota: Adaptado de Google Earth, edición propia. Google. (s.f. -c)

Tabla 1:

Ubicación Geográfica de la Carretera Cusco-Paruro.

Ubicación Geográfica de zona de estudio	
Región	Cusco
Provincia	Cusco
Distrito	San Jerónimo
UTM	188332.499 E 8498896.484 N

Nota: Ubicación Geográfica

1.3.2. Limitaciones con respecto a materiales

Para la elaboración de este trabajo de investigación, se utilizó los siguientes materiales con sus respectivos porcentajes por peso de muestra:

- Cal hidratada. 1%, 2%, 3%



- Cemento portland tipo IP. 5%

1.3.3. Limitaciones de recursos

Se entiende como limitación de recursos, a la disponibilidad de laboratorio, fichas técnicas y aparatos necesarios para lograr el presente trabajo de investigación. Para el desarrollo de la actual tesis se usó las instalaciones, equipos del laboratorio de suelos y materiales “Proyconsilver”, que está ubicado en la dirección: barrio profesional C-1, provincia de Cusco; departamento de Cusco.

Los equipos necesarios para los ensayos están mostrados en la tabla a continuación:

Tabla 2:

Ensayos a Realizar.

ENSAYO A REALIZAR	Disponibilidad del Equipo	
	SI	NO
Muestro de suelos.	X	
Clasificación de suelos. (Granulometría)	SUCS	X
	AASHTO	X
	Limite Liquido	X
Ensayo de Limites de Atteberg	Limite Plástico	X
	Índice de plasticidad	X
Ensayo de Proctor Modificado	X	
Ensayo de CBR en Laboratorio	X	

Nota: Ensayos

1.3.4. Limitaciones Normativas

Los ensayos realizados en la actual investigación son regidos y situados dentro de la norma Técnica Peruana (NTP), normas internacionales (AASHTO), Sistemas internacionales (SUCS), incluso con el procedimiento desarrollado en investigaciones anteriores.

1.3.5. Limitaciones económicas

Esta actual investigación se limitó a las posibilidades del financiamiento del tesista, utilizando recursos propios para la factibilidad de la tesis.



1.3.6. Limitaciones de tiempo

La extracción de la muestra y preparación de las mismas se realizó en el mes de agosto del 2021; la elaboración de ensayos, toma de datos y procesamiento de cálculos de estos mismos se ejecutaron en los meses de setiembre, octubre y por ultimo el mes de diciembre del año 2021.

1.4. Objetivo de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar en qué medida mejora las propiedades físico – mecánicas del suelo fino de la carretera Cusco – Paruro al adicionarle cal a porcentajes de 1, 2, 3% y cemento 5% en el año 2021.

1.4.2. Objetivos específicos

Objetivo específico 01: Determinar en qué medida mejora las propiedades de plasticidad del suelo fino de la carretera Cusco – Paruro al adicionarle cal a porcentajes de 1, 2, 3% y cemento 5% en el año 2021.

Objetivo específico 02: Determinar en qué medida mejora la máxima densidad seca del suelo fino de la carretera Cusco – Paruro al adicionarle cal a porcentajes de 1, 2, 3% y cemento 5% en el año 2021.

Objetivo específico 03: Determinar en qué medida mejora el valor de la relación de soporte CBR del suelo fino de la carretera Cusco – Paruro al adicionarle cal a porcentajes de 1, 2, 3% y cemento 5% en el año 2021.



Capítulo II:

Marco Teórico.

2.1. Antecedentes de la tesis o Investigación Actual.

2.1.1. *Antecedentes a Nivel Nacional*

Velásquez (2018) , en su tesis “Influencia del cemento portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector la molina”, analizó y calculo el uso del cemento portland como estabilizador de suelo arcilloso de elevada plasticidad. Se ejecutó un análisis de las muestras de suelo para caracterizar sus propiedades físicas y mecánicas. Se usó el cemento Portland tipo I como aditivo para realizar la estabilización en porcentajes 1,3 y 5% del peso seco de las muestras de ese respectivo suelo. Se hizo las pruebas de laboratorio de contenido de humedad, Granulometría, Límites líquido y plástico, Límite de contracción, Proctor modificado y CBR. Estimando como influye el cemento portland Tipo I en la estabilización del suelo de la subrasante de la avenida Dinamarca, Sector La Molina. Al agregar cemento 5% el índice de plasticidad se disminuyó de 44% a 15%, el índice de contracción se minorizo de 27% a 19% y su CBR aumentó de 1.30% a 13.75% al 95%DSM. A pesar de añadir del cemento, con porcentajes 1,3,5%, la muestra de suelo demostró una plasticidad regular y se encontró sometido variaciones en su volumen. Por otro lado, logrando una subrasante regular a buena, según el índice de CBR, se alcanzó con una adición de 4% de cemento. Esta investigación nos aporta con la información de datos y resultados de los ensayos en la aplicación del cemento como aditivo para el mejoramiento o estabilización de suelo de la avenida Dinamarca en el sector de la Molina, de similares características que la carretera Cusco – Paruro.



Lopez & Ortiz (2018) presentaron un informe de tesis titulado “Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización San Luis de la ciudad de Abancay”, tesis que consiste en precisar el porcentaje adecuado de cal que se debe añadir a la subrasante de los Jirones de Molino ata y Santo Domingo de la Urbanización San Luis de la ciudad de Abancay, por consiguiente ser usado como base estabilizada para que esta subrasante conforme un fragmento de la estructura de diversas clases de pavimentos, los porcentajes óptimos de cal se extrajo a partir de los ensayos de laboratorio y aquellos procedimientos aconsejados en las normas del MTC, norma CE.010 y otros reglamentos actuales. Estabilizar el suelo existente de los jirones de Molinopata y Santo Domingo de la urbanización San Luis, adicionando un porcentaje de cal y que este consiguientemente pueda ser usado como capa de subrasante de un pavimento según las características y reglamentos actuales en nuestro país. Al comparar el suelo – Cal con el suelo en estado natural, se observa un aumento de la plasticidad de la calicata 01 con un Índice de plasticidad de 1% aumenta a 7.32% con hasta 8% de cal de adición y un aumento del CBR de la calicata 01 de 8.75% a un valor de 145% de hasta un 8% de cal de acción. La cantidad de cal necesaria para mejorar el índice de CBR en ese suelo es de 8% del peso seco del suelo. Al usar Cal para el mejoramiento de este suelo esta investigación nos aporta inquisición sobre porcentaje de Cal óptimo para un mejoramiento de las propiedades que puede aplicarse en un suelo arcilloso de la calle de la urbanización de san Luis de la Ciudad de Abancay, de similares cualidades que el suelo de la carretera de la actual investigación.



2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional

García (2019) en la tesis “Estudio de la técnica de suelo- cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín”, pretende examinar el método de combinación suelo – cemento y su conducta mecánica en un modelo de arcilla, se aplica el caolín como suelo tipo, al ser un agregado mineral muy estable originario de la caolinita, también se añaden distintas cantidades de cemento que van desde el 0% hasta el 12% de peso en masa. Examinando la conducta física – mecánica de una combinación de suelo – cemento en laboratorio, a través de ensayos de respuesta carga monotónica con el objetivo de fijar los valores de resistencia para un suelo fino de carácter caolín y potencial aplicación en vías terciarias del país de similar conformación. Se puede afirmar la variación del índice de plasticidad el cual inicia con un 15.01% teniendo 0% de cemento y disminuye hasta 12.75% con un 12% de cemento. También se observa que los cilindros con 12% de cemento y 28 días de curado alcanzan una resistencia máxima de 2.42 Mpa, mientras que los que tiene 14 días de curado alcanza 1.46 Mpa. Es decir que las propiedades de fraguado del cemento aumentaron en un 40% la resistencia de la materia desde los 7 días hasta los 28. Esta investigación nos aporta con resultados y la información del comportamiento del suelo-Cemento frente a una específica estructura mineralógica de arcilla que se encuentra en el suelo colombiano con la finalidad de lograr estabilizar este modelo de suelo arcilloso.

Altamirano & Diaz (2015) presentaron un informe de tesis titulado “Estabilización de suelos cohesivos por medio de cal en las vías de la comunidad de san isidro de Pegon, municipio Potosi – Rivas” el objetivo fundamental de esta investigación es lograr la estabilización de las arcillas que se encuentran en las vías de la comunidad de San Isidro de Pegón. La estabilización



de las arcillas, se ejecutó posteriormente de clasificar el suelo, calculando las características físicas como mecánicas a través de la evaluación in situ y en los ensayos de laboratorio, basados en las normas ASTM y AASHTO. Aquellos resultados obtenidos fueron evaluados para efectuar dosificaciones de suelo arcilloso con distintas cantidades de cal. Estabilizar los suelos cohesivos de las vías de la comunidad San Isidro pegón, municipio de Potosí departamento Rivas, con una mezcla de cal hidratada que varían desde el 3% de cal hasta el 12% de cal. Al cuantificar las propiedades con porcentajes se logró una mejora relevante concerniente a la plasticidad reduciendo de 26% el índice de plasticidad a 9%; se incrementó la humedad requerida en este proceso debido a la reacción exotérmica producida entre la cal y la arcilla, se aumentó significativamente la capacidad de soporte del suelo de un valor de 16.28% a un valor de 57.2%. Aunque no se respetó con los parámetros de expansión, se obtuvo un resultado aceptable, ya que se redujo la expansión de 7.9% a un 3.1%. En esta investigación al hacer uso de cal para el mejoramiento del suelo cohesivo, contribuye a esta investigación con los datos de porcentajes de cal y en qué magnitud mejora en las propiedades físico-mecánicas, la aplicación de la cal en el suelo cohesivo de la comunidad de San Isidro de Pegón, cuyas características son similares a la carretera Cusco – Paruro que se está investigando.



2.2. Aspectos Teóricos.

2.2.1. *Subrasante o Explanada*

Según el MTC (2014), indica que:

La explanación es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimientos de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de la excavación del terreno natural, que soportara la estructura del pavimento. Los suelos inferiores del nivel de la subrasante, en una profundidad como mínimo 0.6 m, tienen que ser suelos apropiados y estables con $CBR \geq 6\%$. En situaciones en el que este suelo, tenga un $CBR < 6\%$ (sub rasante pobre o sub rasante inapropiado) le atañe una estabilización de este suelo. (pp.20-21)

De acuerdo a Kramer et al (2004):

Las explanaciones son las acciones de restauración del terreno original a través de la adición o retirada de materiales, de tal manera que se consiga una superficie de geometría de regularidad adecuada y capacidad resistencia para el apoyo del firme y de la superestructura. (p.04)

2.2.1.1. **Característica Fundamental de la Subrasante**

Montejo (2002) indica que:

El atributo de la sub rasante depende, mayormente, del espesor que debe poseer un pavimento, sea flexible o rígido. Como criterio de apreciación de esta capa se aplica la capacidad de soporte (CBR), tanto a la resiliencia como al cambio volumétrico (hinchamiento - retracción). (p.09)

El proyecto de un pavimento es principalmente el ajuste de las cargas de las ruedas a la suficiencia de la subrasante. Aun cuando eso se puede lograr por medidas empíricas basadas en



experiencias anteriores, la ingeniería económica solicita un cálculo y evaluación de las propiedades físicas y mecánicas más reveladoras de la subrasante (Sowers, GB y Sowers, GF ;1972, p.313).

De acuerdo con Kraemer et al (2004):

Con la conformación de subrasantes se debe lograr una superficie: una superficie regularidad longitudinal y transversal, de modo que el espesor de la capa inferior del pavimento pueda ser considerablemente uniforme. Protegida contra la acción destructiva del agua, evitando la sensibilidad a las variaciones de humedad. Con una capacidad de soporte lo más elevada posible y uniforme. (p.81).

2.2.1.2. Interrelación Subrasante – Pavimento

El esquema de un pavimento está establecido en el supuesto que se debe alcanzar una calidad específica en cada nivel que lo compone. Cada una de estas capas debe soportar los esfuerzos cortantes interiores de sí mismas, previniendo deflexiones elásticas excesivas, que pueden producir agrietamientos por fatiga interiormente o en las capas superpuestas, y así prevenir una alteración duraderas excesivas a causa de la densificación (proceso gradualmente lento de disminución del índice de vacíos de un suelo) del material que la conforma. Así al obtener una subrasante de alta calidad se podrá elaborar un pavimento con superior duración y de menor dimensión, lo cual resulta una ventaja técnica y económica. (USACE,1984, pp.1-2)

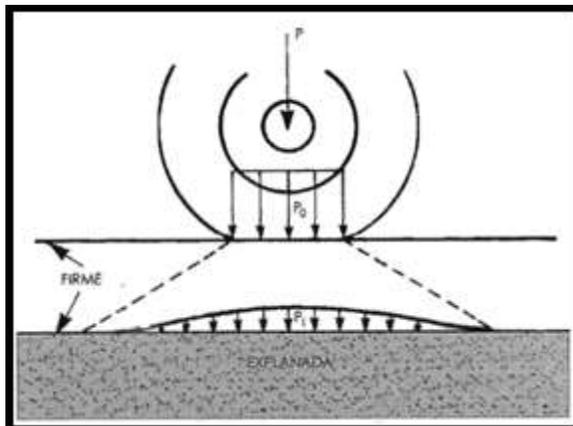
Según Kraemer et al (2004):

El pavimento tiene que soportar los requerimientos previstas del tráfico pesado, repartido las presiones verticales ejercidas por las cargas, de manera que la subrasante solo sostenga una pequeña fracción de aquellas, acorde con su capacidad de soporte.

También tiene la función importante de proteger la subrasante del efecto del líquido con su influencia en el aguante al esfuerzo cortante de los suelos. En lugares donde el clima es muy frío el pavimento conforma un resguardo contra las consecuencias de la helada y del deshielo. (p.83).

Figura 9:

Transferencia de la Carga de una Rueda a Través de la Subrasante.



Nota: Adaptado de Ingeniería de carreteras (p.234), por Kraemer et al,2004, McGraw-Hill.

2.2.2. *Propiedades Físicas y Mecánicas del Suelo*

2.2.2.1. *Propiedades Físicas*

2.2.2.1.1. *Granulometría*

“El análisis granulométrico se referencia a la cuantificación en porcentaje de los distintos tamaños de las partículas que conforman el suelo.” (Crespo,2004, p.88)

Es el propósito de cuantificar las escalas relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo dada. Como no es concretamente posible hallar el tamaño exacto de cada partícula independientemente del suelo, la ejecución solamente conforma los elementos por rangos de tamaño. Para conseguir esto se adquiere la cantidad de material que pasa a través de un tamiz con una malla dada pero que es retenido en un siguiente tamiz cuya apertura tiene



diámetros ligeramente menores a la anterior y se relaciona esta cuantía retenida con el total de la muestra pasada a través de los tamices (Bowles, 1981, p.37).

Según el MTC (2014) nos da una clasificación de suelos según a la dimensión de las partículas, como se define en el siguiente cuadro. (p.31)

Tabla 3:

Clasificación de Suelos según al Tamaño de las Partículas.

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm Arena mediana: 2.00 mm – 0.425 mm Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Nota: Adaptado de suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (P.31), por MTC, 2014, MTC.

Este ensayo tiene por normativa peruana la Norma Técnica NTP 400.012 Agregados. Estudio granulométrico del agregado fino, grueso y global. También tenemos la norma internacional ASTM C33-03.

2.2.2.1.2. Clasificación de Suelos

De forma general Crespo (2004) Introduce que “la mecánica de suelos ha avanzado ciertos métodos de clasificación de suelos, estos métodos tienen, prácticamente su área de aplicación según la necesidad y uso que los haya fundamentado” (p.87).

“los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos.” (Brajam ,2001, p.35).



✓ Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S)

Los suelos se designan por símbolos de grupo, el símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los seis tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos y turba), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos. (Crespo ,2004, p.88).

Tabla 4:

Signos Convencionales para Perfiles de Calicatas – Clasificación S.U.C.S.

Nomenclatura	Tipo de suelo	Nomenclatura	Tipo de suelo
Gw	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de material fino, variación en tamaños granulares	SM	Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
GP	Grava mal graduada, mezcla de arena – grava con poco o nada de material fino	SC	Arena arcillosa, mezcla de arena – arcillosa
GM	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa	ML	Limos orgánicos y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad
GC	Grava arcillosa, mezcla de grava – arena – arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino	CL	Limo orgánico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcilla arenosa, arena limosa, arcilla magra
SW	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidad de partículas en tamaños intermedios	OL	Limo orgánico y arcilla limosa orgánica, baja plasticidad
SP	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino	MH	Limo inorgánico, suelo fino gravoso o limoso

Nota: Adaptado de suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (p.30), por MTC, 2014, MTC.



✓ Sistema de clasificación AASHTO

“El sistema de clasificación AASHTO en la actualidad está en uso, se observa en la tabla 3, de acuerdo con este, el grupo se cataloga en siete grupos mayores: A-1 al A-7.” (Braja, 2001, p.35)

Tabla 5:

Clasificación de Suelos Basados en AASHTO M 145.

Clasificación general	Suelos granulares 35% máximo que pasa por tamiz de 0.075 mm (N.º 200)							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.075 mm (N.º 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Clasificación por grupos	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					
clasificación granulométrica % que pasa por el tamiz:												
2mm (Nº10)	Max 50											
0.425mm (Nº40)	Max 30	Max 50	Min 51									
F: 0.075 mm (Nº200)	Max 15	Max 25	Max 10	Max 35	Max 35	Max 35	Max 35	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	Min36
Característica de la fracción que pasa por el tamiz (N.º 40)												
LL: Limite liquido				Max 40	Min 41	Max 40	Max 40	Max 40	Min 41	Max 40	Min 40	Min 41
IP: Índice de plasticidad	Max 6	Max 6	N.P.	Max 10	Max 10	Min 11	Min 10	Max 10	Max 10	Min 11	Min 11	Min 11
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas	Arenas finas	Gravas y arenas limos o arcillas				Suelos Limosos		Suelos arcillosos			
Estimación general del suelo como sub rasante	Excelente a bueno						Regular e insuficiente					

Nota: Adaptado de suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (P.34), por MTC, 2014, MTC.

2.2.2.1.3. Límites de Consistencia

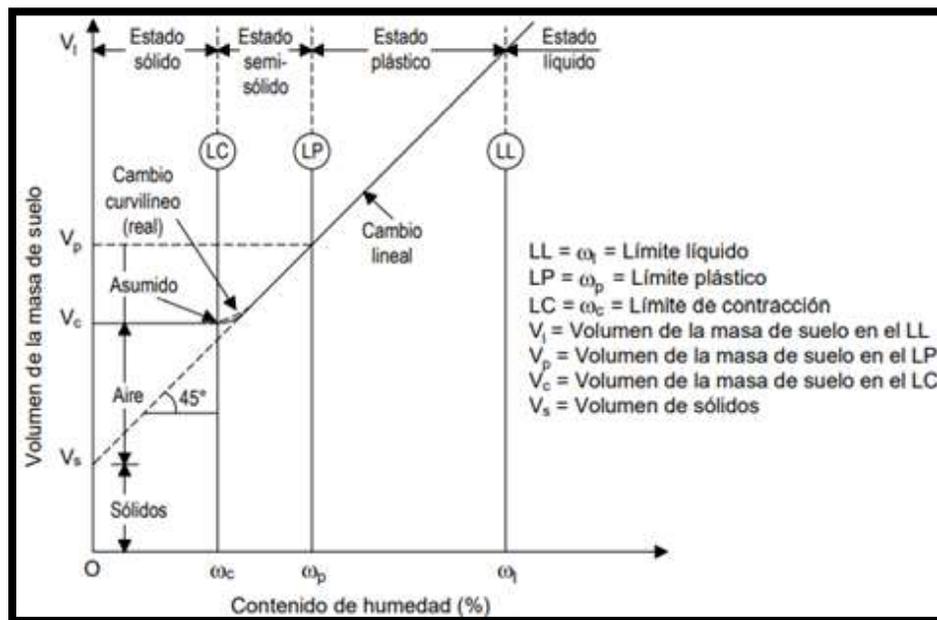
Según Angelo et al. (2020) dice que “los límites líquido y plástico son altamente empleados en todas las áreas del mundo, fundamentalmente con la finalidad de identificación y clasificación de suelos.” (p.02)

Según Bowles (1981) “Los límites líquido y plástico son algunos de los 5 “límites” planteados por A. Atterberg”:

- Limite Plástico (LP): Es la cantidad de humedad por debajo de este se puede conceptualizar el suelo como elemento no plástico.
- Limite Liquido (LL): Es la cantidad de humedad por debajo de este el suelo se establece como material plástico. A esta escala de contenido de humedad el suelo está en el vértice de variar su comportamiento al de un fluido viscoso.
- Límite de contracción (LC): Es el contenido de humedad por debajo del cual no se produce reducción adicional de volumen o contracción en el suelo.

Figura 10:

Límites de Plasticidad y Variabilidad del Volumen de Masa del Suelo.



Nota: Adaptado de Geotechnical Engineering (p.59), Por C. Venkatramaiah, 2006, New Age international.



- Índice de Plasticidad (IP): se denomina a la variación numérica entre los límites líquido y plástico y denota el margen de humedades dentro del cual se encuentra el estado plástico tal como lo determinan los ensayos. (p.16)

Según el MTC (2014) nos da una clasificación de suelos según al índice de plasticidad como se muestra en la tabla:

Tabla 6:

Clasificación de Suelos Según el Índice de Plasticidad

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos
$IP > 7$		
$IP < 7$	Baja	Suelos poca arcilla plástica
$IP = 0$	No plástico	Suelos exentos de arcilla

Nota: Adaptado de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (Pg.32), por MTC, 2014, MTC.

Estos ensayos de límites de Atterberg e índice de plasticidad tienen la norma internacional ASTM d 4318. también la norma técnica peruana NTP 339.129.

2.2.2.2. Propiedades Mecánicas

2.2.2.2.1. Ensayo de Compactación (Prueba de Proctor):

El ensayo de Proctor consiste en hallar el peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un proceso definido para distintos porcentajes de humedad. Aplicando a un suelo cierta energía para compactarlo, el peso volumétrico obtenido varía con el contenido de humedad según una curva, como en la figura (9) en la cual se puede observar la existencia de un grado de humedad con el cual se obtiene el peso volumétrico máximo para ese suelo y esa energía de compactación. (Crespo, 2004, p.100).

Figura 11:

Grado de Humedad para Obtener el Peso Volumétrico Máximo.



Nota: Adaptado de Mecánica de suelo y cimentaciones (p.100), C. Crespo,2004, Limusa

Según al ingeniero Yepes (2019) dice que la prueba de Proctor tiene como por objetivo:

- Cuantificar el peso volumétrico seco máximo que pueda alcanzar un material, también la humedad óptima que tiene que llegar para poder lograr este punto de compactación.
- Cuantificar el nivel de compactación logrado por el material durante la construcción o cuando ya se encuentran construidos las vías, relacionando el peso volumétrico obtenido en el lugar con el peso volumétrico máximo del ensayo Proctor. (pr.1-2)

Para este ensayo tenemos la norma técnica peruana NTP 339.141, Proctor modificado.

También tenemos la norma internacional ASTM D-698 Proctor estándar, ASTM D-1557 Proctor modificado y UNE 103-500-94 norma española que precisa el ensayo de compactación Proctor normal.



2.2.2.2.2. *Relación de Soporte de California (CBR)*

“Se define a la relación de soporte California (California Bearing Ratio, CBR), como un índice semi empírico de las características de resiliencia y deformación de un suelo”. (Sowes, GB y Sowers, GF ;1972).

Según el Ing. Crespo Villalaz (2004) expone:

CBR es un índice de su resistencia al esfuerzo cortante en circunstancias definidas de compactación y humedad, y se refleja como el porcentaje de la carga necesaria para penetrar un pistón de sección circular en una muestra de suelo, respecto a la precisa para que el mismo pistón penetre a la misma profundidad de una muestra tipo de piedra triturada. (p.112)

Según el MTC (2014):

cuantificado la cuantía del índice CBR de diseño para cada tramo con características uniformes, se definirá a qué clase de subrasante corresponde el dicho tramo o subtramo

Tabla 7:

Categorías de Sub Rasante en Función a su Índice de CBR.

Categoría de sub rasante	CBR
S0: Sub rasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Sub rasante insuficiente	De CBR \geq 3% A CBR < 6%
S2 Sub rasante Regular	De CBR \geq 6% A CBR < 10%
S3: Sub rasante buena	De CBR \geq 10% A CBR < 20%
S4: Sub rasante muy buena	De CBR \geq 20% A CBR < 30%
S5: Sub rasante excelente	CBR \geq 30%

Nota: Adaptado de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (P.35), por MTC, 2014, MTC.

Para lograr clasificar el tipo de subrasante dada en la tabla mostrada los suelos de la explanación, inferior del nivel superior de la subrasante, se deberá tener un espesor mínimo de 0.6 m del correspondiente material a la categoría destinada, en otro caso se destinará a la clase de subrasante próximo de calidad inferior. (p.35).



descrito al nivel superior de la subrasante, el MTC (2014) también aconseja que:

Debe estar sobre el nivel freático por lo menos 0.6 m donde sea una subrasante excelente – muy buena ($CBR \geq 20\%$); a 0.8 m cuando sea una subrasante buena-regular ($6\% \leq CBR < 20\%$); 1.00 m cuando sea una subrasante pobre ($3\% \leq CBR < 6\%$); a 1.20 m cuando sea una subrasante inadecuada ($CBR < 3\%$). Si es necesario, se emplearán subdrenes o capas anticontaminantes o drenantes o se aumentara la rasante hasta una altura necesaria. (p.41)

Para este ensayo tenemos la norma Técnica Peruana NTP339.145, método de ensayo de CBR de suelos compactados en laboratorio. También tenemos la norma internacional ASTM D-1883 y AASHTO T-193.

2.2.3. Aditivos para Estabilizar el Suelo

2.2.3.1. Cemento

Exponen que según la norma europea UNE-EN 197-1:2011:

El cemento portland son conglomerantes hidráulicos, elementos elaboradas artificialmente de naturaleza inorgánica y mineral, finalmente pulverizados y convenientemente amasados con agua crean pastas que fraguan y se consolidan a causa de las reacciones de hidrolisis e hidratación de sus contribuyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como el agua. (Sanjuan y Chinchón, 2004, p.18).

De manera general, Pasquel (1998) define “el cemento portland es un conglomerante hidrófilo, que resulta de la cauterización de rocas calizas, areniscas y arcillas, de forma de obtener un polvo con partículas muy finas que en presencia de agua tiende a endurecer obteniendo propiedades resilientes y adherentes” (p.17).



2.2.3.1.1. Composición Química del Cemento Portland

“Luego del desarrollo de la formación del Clinker y molienda final, se generan los resultantes compuestos implantados por primera vez por Le Chartelier en 1852, y que son los que atribuyen la conducta del cemento hidratado” (Pasquel, 1998, p.22).

Estos compuestos son los que se ven en la siguiente tabla (8).

Tabla 8:

Composición Química del Clinker (% en Masa)

Fase	Formula	Abreviatura	Rango	Valor medio
Silicato tricálcico	3CaO SiO ₂	C3S	46-79	61
Silicato bicalcico	2CaO SiO ₂	C2S	5-30	15
Ferritoaluminato tetracalcico	4CaO(Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃)	C4(A2F)	4-16	8
Aluminato tricálcico	3CaOAl ₂ O ₃	C3A	6-18	12
Cal libre	CaO	C	0.1-4	1
Oxido de magnesio libre	MgO	M	0.7-1.5	1.5

Nota: Adaptado de Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland (p.21), por M. Sanjuan; S. Chichón, 2004, Universidad Alicante.

Los silicatos, C3S y C2S son los compuestos más importantes, los cuales se le atribuye la residencia de la masa de cemento hidratada. De hecho, estos silicatos presentes en el cemento no son compuestos puros, pero contienen menos óxidos en solución sólida.

También se enfatiza que la presencia del C3A es indeseable en el cemento ya que influye muy poco o nada a la resiliencia del cemento en excepción a una edad temprana, en continuación la pasta de cemento endurecida es influenciada por sulfatos, en la conformación de sulfoaluminato de calcio (entringita) puede producir una interrupción. Sin embargo, el C3A es ventajoso en la fabricación del cemento ya que ayuda a la unión de la cal y la sílice.



El C4A2F, se encuentra en el cemento en bajas proporciones y diferenciado con los tres compuestos, no influye en el comportamiento a gran escala; pero reacciona con el yeso para producir sulfoferrito de calcio y su presencia puede agilizar la hidratación de los silicatos.

Asimismo, en el cemento están presentes otros compuestos en cuantías menores tales como el MgO, TiO₂, Mn₂O₃, K₂O y Na₂O; estos generalmente en cuantías no mayores que un bajo porcentaje de la masa del cemento. (Neville y Brooks, 2010, p.10).

2.2.3.1.2. Hidratación del Cemento Portland

“Se considera hidratación al grupo de reacciones químicas entre el agua y los compuestos del cemento, que tienen como efecto la transformación de la característica plástica a la de endurecida, con las características propias a los nuevos compuestos constituidos” (Pasquel ,1998, p.27).

Según Neville y Brooks (2010):

En conjunto de agua, los silicatos y aluminatos del cemento Portland hacen productos de hidratación o hidratos, estos con el tiempo forman una masa firme y resistente (pasta de cemento endurecida). El silicato tricálcico (C₃S) y el silicato bicálcico (C₂S) son los principales compuestos cementantes presentes en el cemento, el primero tiene una hidratación mucho más acelerada que el segundo.

El efecto de hidratación del C₃S es el hidrato microcristalino C₃S₂H₃ con un poco de cal que se separa como Ca (OH)₂ cristalino; el C₂S se tiene un comportamiento semejante pero notoriamente menor contenido de cal. Los hidratos de silicato de calcio son descritos como C-S-H (conocidos como gel de tobermorita), la respuesta de hidratación aproximadas se interpreta de la siguiente manera.



Para el silicato tricálcico (C₃S):



[100] [24] [75] [49]

Para el silicato bicálcico (C₂S):



[100] [21] [99] [22]

Los números colocados en corchetes son las masas correspondientes, y sobre esta premisa ambos silicatos necesitan aproximadamente idéntica cantidad de agua para su hidratación, pero el C₃S genera más el doble de Ca (OH)₂ que la hidratación del C₂S.

Asimismo, alude que la cuantía de aluminato tricálcico (C₃A) en casi todos los cementos es relativamente reducido, su esqueleto como hidrato es de forma cristalino cubica, la cual se rodea por los hidratos de silicato de calcio. El efecto que tiene el C₃A puro con agua es acelerada y puede dar lugar a un flash set (fraguado rápido de cemento), lo cual se contiene con la adición de yeso al Clinker del cemento. Aun así, la acelerada reacción del C₃A es precoz frente a la de los silicatos de calcio, siendo la reacción aproximada:



[100] [40] [140]

Las masas colocadas en corchetes evidencian que se necesita una superior cantidad de agua para la hidratación de los silicatos. (p.12)

La reacción con el agua no junta las partículas de cemento, sino que Cada partícula se separa en millones de partículas de resultados de hidratación cambiando los constituyentes iniciales. El proceso es exotérmico generando calor hacia el exterior denominado calor de hidratación. (Pasquel ,1998, p.27).



2.2.3.1.3. *Cemento Portland Tipo I*

Sanjuan y Chinchón (2004) menciona que:

el cemento portland Tipo I es un cemento con la función usual en la construcción, que se aplica en proyectos o trabajos que no necesitan características particulares. se fabrica por medio de la moledura conjunta de Clinker Tipo I y yeso.

Este tipo de cemento es un óptimo cemento general y es el mayor empleado, en diferentes trabajos, en la industria de la construcción.

✓ Condiciones mínimas que deben obedecer:

El cemento Portland tipo I tiene que obedecer la Norma técnica peruana 334.009 y la Norma ASTM C150. Las condiciones mínimas como se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9:

Condiciones Mínimas del Cemento del Cemento Portland Tipo I, Cementos Yura.

Requisitos químicos	Cemento Multipropósito Yura Tipo I		Requisitos Norma NTP 334.09 Astm C-595			
	MgO (%)	1.5 a 3.0		6.00 Max		
SO ₃	1.5 a 3.0		4.00 Max			
Perdida por ignición	1.5 a 4.0		5.00 Max			
Requisitos Físicos						
Peso específico (gr/cm ³)	2.75 a 2.85					
Expansión en autoclave (%)	0.07 a 0.03		-0.20 a 0.80			
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170 a 270		45 a 420		Requisitos Norma NTP 334.009 ASTM C-150 (CEMENTO TIPO I)	
Resistencia a la compresión	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²	Mpa	Kgf/cm ²	MPa
3 días	175 a 200	17.1 a 19.6	133 Min	13	122 Min	12 Min
7 días	225 a 255	22 a 25	204 Min	20	194 Min	19 Min
28 días	306 a 340	30 a 33.3	255 Min	25	-	-
Resistencia a los sulfatos	%		%			
%Expansión a los 6 meses	<0.04		0.05 Max			
%Expansión a 1 año	<0.05		0.1 Max			



Nota: En la tabla 7 se muestra las características técnicas y el cumplimiento con las normas de la marca de cementos Yura, estas características son proporcionadas en la ficha técnica del cemento Yura. Adaptado de *la Ficha técnica de Cementos Yura*, por Cementos Yura, 2020.

2.2.3.1.4. Reacción entre Suelo y el Cemento

La actuación del suelo cemento consiste en dos etapas, la primera es la reacción de la naturaleza fibrosa del silicato de calcio que se forman cuando el cemento entra en unión con el agua. Esta solución formada reacciona con las partículas del suelo, reacciona en la que los iones de calcio tienden a agrupar las partículas de suelo cargadas negativamente produciendo su floculación. (Montejo, 2002, p.112).

Según Laguros y Davison (1962) indica que:

En el momento que se suministra cemento al suelo y los dos se mezclan totalmente con el porcentaje de agua adecuada, en la combinación se tiende a generar propiedades consecuentes de la alteración en la estructura del suelo que conllevan a obtener resiliencia y durabilidad. Uno de las primeras intenciones para interpretar esta transformación indica que las partículas del suelo se agrupan y estas se juntan para conformar un nuevo material estructural.

Indica además que el material cementante se reparte en la masa del suelo – cemento similar a un enrejado de esqueleto, donde las micro agregaciones del suelo son envueltas con películas delgadas. También, pequeñas combinaciones de cemento se distribuyen en la estructura del suelo tratado como brotes aislados que no están interrelacionados y no generan un esqueleto reticular continuo. En este tipo de casos, la relación suelo y cemento conduce fundamentalmente a una mayor cohesión. Con el incremento de las proporciones de cemento se genera un beneficio en la resiliencia mecánica y la impermeabilidad gracias a la estructuración de un esqueleto ramificado



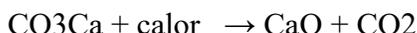
en el suelo – cemento y al llenado de los poros del suelo por las pequeñas partículas de cemento individuales. (p.9)

2.2.3.2. Cal

Según Sanjuan y Chinchón (2004) dice que “la cal se considera un aglomerante que procede de la calcinación de piedras calizas, como se puede diferenciar desde cales con alto grado de pureza hasta cales hidráulicas con volúmenes menores de 50% de óxido de calcio”. (p.14)

Según Montejo (2002) expone que:

La Cal es un producto adquirido de la separación de rocas calizas por calor. Si son puras y se calientan a temperaturas superiores a 900 °C, se consigue la siguiente reacción:



En otras palabras, el carbonato de calcio se descompone en oxido de calcio y anhídrido carbónico, que se elimina con los productos gaseosos de la combustión. (p.102)

Según Nacional Lime Association (2004) “Para el tratamiento de suelos se puede utilizar cal viva (oxido de calcio -CaO), cal hidratada (hidróxido de calcio) o una lechada de cal” (p.11)

A continuación, se mostrará la tabla de las ventajas y desventajas de los tres tipos de cales para el tratamiento de suelos:

Tabla 10:

Ventajas y Desventajas de los Tres Tipos de Cales para Tratamiento de Suelos.

MATERIAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
CAL HIDRATADA EN POLVO	Es posible que se pueda aplicar más rápido que la lechada. Es capaz de ser usada para secar arcillas, pero no tan eficaz que la cal viva.	Las partículas hidratadas de cal al ser finas, de manera que el polvo logra ser una dificultad por lo que este método es inadecuado en lugares poblados
CAL VIVA EN SECO	Económicamente, al contener 20% a 24% adicional de óxido de calcio disponible. Exige menos instalaciones de almacenaje debido a su mayor	Requiere 32% de su peso en agua para convertirse en cal hidratada y puede haber perdida adicional por evaporación significativa debido al calor de hidratación.



	densidad. La cal viva es óptima para secar suelos muy húmedos	
LECHADA DE CAL	Aplicación libre de polvo. Se requiere menos agua adicional para la mezcla final.	Velocidad lenta de aplicación. Costos más altos debido al equipo extra requerido.

Nota: Adaptado de Manual de estabilización de suelos tratado con cal (p.11-12), por Nacional Lime Association, (2004), Lime Association.

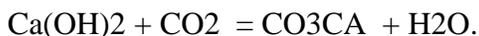
2.2.3.2.1. Hidratación de la Cal

La cal es voluble por tener gran avidéz de agua, con la cual reacciona del modo siguiente:



Elaborándose hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o cal apagada, con liberación de calor. La cal apagada en pasta, tiene la característica de endurecer progresivamente en el aire, enlazando los cuerpos solidos por el cual se aplica como conglomerante.

Este endurecimiento se denomina fraguado, y es producto principalmente a una desecación por evaporación del agua con la que forma la pasta y por consiguiente a una carbonación por asimilación del anhídrido carbónico del aire:



Así generándose carbonato de calcio y agua, reconstituyendo la caliza de que se partido.
(Montejo,2002, p.103)

2.2.3.2.2. Reacción entre el Suelo y la Cal

Según Leite et al. (2016):

la reacción de la cal en el suelo tiene la característica del intercambio catiónico entre los dos, la agregación de la cal a los suelos arcillosos suministra un exceso de iones de calcio y magnesio, desplazando otros cationes monovalentes comunes, como sodio y potasio existentes en las placas minerales de arcilla (p.3).



Según Sanches (2016) explica que:

al añadirle cal al suelo, este suministra un exceso de iones Ca^{++} que reemplaza los cationes metálicos más débiles disminuyendo el tamaño de la capa de agua difusa y accediendo que las partículas de arcilla se agrupen una a otras o floculen. Esta floculación es la transformación superficial de la estructura del suelo, donde las partículas de arcilla tienden a aglomerarse y forman otras de un tamaño mayor.

Figura 12:

Floculación de las Partículas del Suelo Fino.



Nota: Adaptado de Materiales para base y sub base (p.80), por F. Sánchez, (2016), <https://www.slideshare.net/castilloaroni/mdulo-7-materiales-para-base-y-subbase-fernando-sanchez-sabogal>.

Esta adición mejora las propiedades de los suelos finos dando efectos inmediatos al suelo como la disminución de la plasticidad, aumento del límite de contracción, reduce la proporción de partículas, mejora la trabajabilidad, disminuye la densidad máxima seca y mejorando las propiedades de esfuerzo deformación de forma instantánea.

Si el suelo se compacta se genera una reacción prolongada entre la cal, el agua y los minerales silico aluminosos del suelo fino, constituyéndose complejos compuestos de silicatos y

aluminatos de calcio hidratados que son agentes cementantes que aumentan la resistencia de la mezcla y su durabilidad. (p.77-80).

Figura 13:

Reacción Puzolánica del Suelo y la Cal.



Nota: Adaptado de Materiales para base y sub base (p.80), por F. Sánchez, (2016), <https://www.slideshare.net/castilloaroni/mdulo-7-materiales-para-base-y-subbase-fernando-sanchez-sabogal>.

2.2.4. Naturaleza de los Suelos cohesivos

Las arcillas son elementalmente partículas submicroscópicas en forma de escamas de mica, minerales arcillosos y otros minerales. Se define también a las arcillas como partículas menores a 0.002 mm En ciertos casos, las partículas de tamaño entre 0.002 y 0.005 mm también se denominan arcillas. Las arcillas se definen como aquellas partículas “que desarrollan plasticidad cuando se mezclan con una cantidad limitada de agua”, (la plasticidad es la propiedad tipo masilla de la arcilla cuando contienen cierta cantidad de agua) (Grim, 1953, como se citó en Braja, 2001, p.3).



2.2.4.1. Minerales arcillosos

“los minerales arcillosos son complejos silicatos de aluminio compuestos de una o dos unidades básicas: 1) tetraedro de sílice y 2) octaedro de alúmina” (Braja, 2001, p.3).

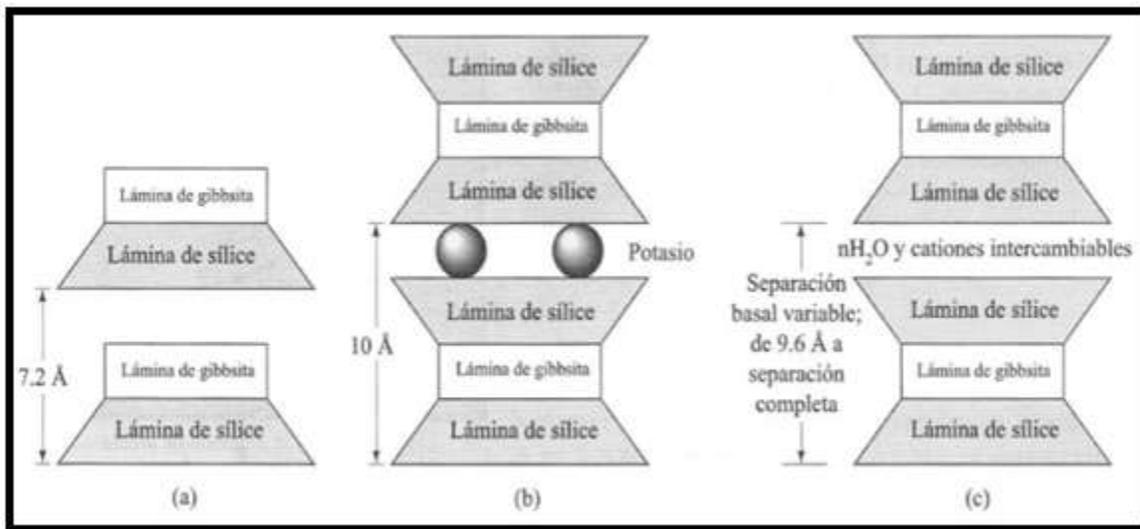
Las arcillas son formadas fundamentalmente por silicatos de aluminio hidratados, también presentan en algunas oportunidades silicatos de magnesio, hierro u otros metales, también hidratados. Estos minerales tienen en mayoría de veces una estructura cristalina, sus átomos se ordenan en laminas: silícica y la aluminica. (Juárez y Rico, 2005, p.37)

Los minerales de arcilla, según Braja (2001) los minerales de arcilla se pueden clasificar en tres grupos básicos que son:

- ✓ El caolinitico: las arcillas caoliniticas son estructuradas por una lámina silícica y una lámina a lumínica superpuestas de manera indeterminada y con una conexión tal entre sus retículas que no admiten la entrada de las moléculas de agua entre ellas. (Figura “a”).
- ✓ El ilitico: Resultado de la hidratación de las micas y que presentan un arreglo reticular similar al de las montmoriloniticas, pero con la tendencia a formar grumos por la presencia de iones de potasio Lo que reduce el área expuesta al agua, razón del cual no son muy expansivas como las arcillas montmoriloniticas. (figura “b”).
- ✓ El montmorilonitico: Se estructuran por la superposición indefinida de una lámina aluminica entre dos laminas silícicas, pero con una unión débil entre sus retículas, el cual provoca en su estructura el agua pueda ingresar con facilidad. Estas arcillas experimenta fuerte expansión en unión con agua, lo que genera inconsistencia entre ellas. (figura “c”). (p.5)

Figura 14:

Diagrama de las Estructuras de (a) Caolinitas ;(b) Illita; (c) Montmorilonita.



Nota: Adaptado de Fundamentos de ingeniería geotécnica (p.5), por D. Braja ,2001, Thomson learning.

2.2.4.2. Propiedades de las arcillas

Según García y Suarez (2008) las características esenciales de las arcillas son:

- a) Superficie específica: Se precisa como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en caso que exista) de las partículas constituyentes. La superficie específica es considerable en la interacción solido fluido, por lo que las arcillas tienen alta superficie específica.

Tabla 11:

Ejemplos de Superficie Específica de Algunas Arcillas.

Tipo de arcilla	Superficie específica (m ² /g)
Caolinita de elevada cristalinidad	15 m ² /g
Caolinita de baja cristalinidad	50 m ² /g
Halloisita	50 m ² /g



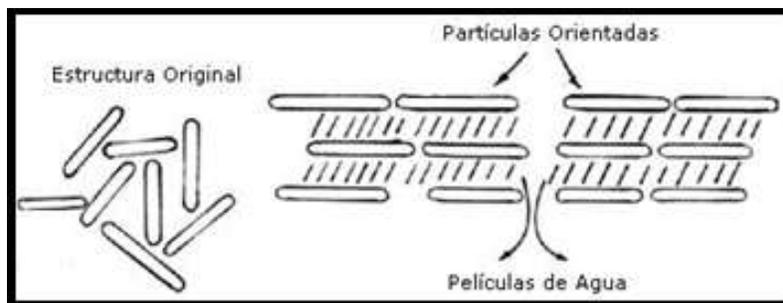
Montmorillonita	80-300 m ² /g
Sepiolita	100-240 m ² /g

Nota: Adaptado de “Arcillas: propiedades y uso” (p.5), E. García y M. Suarez ,2008, Universidad de Castilla-La mancha.

- b) Capacidad de absorción: La capacidad de absorción está directamente vinculada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos:
- Absorción (cuando se trata esencialmente de sucesiones físicas como la retención por capilaridad.
 - Adsorción (cuando el absorbente que es la arcilla tienen una interacción tipo química con el líquido gas absorbido).
- c) Hidratación e hinchamiento: La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmécticas. La absorción de agua en el espacio interlaminar hace consecuente la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento, Esto se debe que a medida que se intercalan capas de agua y la separación de las láminas aumenta, las fuerzas predominan son de repulsión electrostática entre laminas, lo que el fenómeno de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente las láminas.
- d) Plasticidad: Esta propiedad se produce a que el agua produce una forma envuelta sobre las partículas laminares generando un efecto lubricante que posibilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce presión a estas. La elevada plasticidad de las arcillas se debe a la morfología laminar, tamaño de partículas pequeñas y la alta capacidad de hinchamiento.

Figura 15:

Teoría de la Película de Agua.



Nota: Adoptado del Blog “plasticidad del suelo – Limites de Atteberg” ,2010, Blogger (<http://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/plasticidad-del-suelo-limites-de.html>)

- e) Tixotropía: Este fenómeno consiste en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, su posterior recuperación con el tiempo. Algunas arcillas tienen esta propiedad tixotrópica, al momento de ser amasadas se vuelven en un verdadero líquido. Al dejarlas en reposo recuperan la cohesión, tal como el comportamiento sólido. (pp.5-7)

2.2.5. Estabilización de suelos

La estabilización de suelos según el MTC (2014):

Se describe como la mejora de las propiedades físicas de un suelo a través de métodos mecánicos e introducción de productos químicos, naturales o sintéticos. Estas estabilizaciones, en la mayoría de veces se aplican en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, para estos casos se tiene conocimiento de la estabilización suelo-cemento, suelo-cal, suelo-asfalto y otros productos diferentes. La estabilización de suelos trata de proveer resistencia mecánica y estancia de estas propiedades a lo largo del tiempo. Los procesos de estabilización son variados y van desde el uso de otro



suelo, a la agregación de uno o más aditivos estabilizantes. La técnica que sea de estabilización, siempre tiene que tener un proceso de compactación. (p.92)

La estabilización incluye la compactación, el drenaje, la pre consolidación y la protección de la superficie contra la erosión y la infiltración de la humedad, sin embargo, al termino estabilización se le va restringiendo gradualmente se alcance a un solo aspecto del mejoramiento del suelo: la modificación del propio material del suelo. (Sowers, GB y Sowers, GF; 1972, p. 296)

2.2.5.1. Estabilización por combinación de suelos.

De acuerdo al MTC (2014):

La estabilización por combinación de suelos se trata de trasladar el suelo presente en 15 cm para el combinarlo con otro suelo de préstamo de unas mejores características de calidad, para lograr esto se tiene que remover las partículas que son menores a 75mm y tendrá que ser pasado por un proceso de aireación y humedecimiento de tal manera que se satisfazca con las exigencias de compactación. (p.113)

2.2.5.2. Estabilización por sustitución de suelos.

Según el MTC (2014) explica que:

este proceso consiste en la preparación del suelo con material totalmente de préstamo, para lograr esto se debe retirar el suelo natural de acuerdo al nivel de excavación indicado, posteriormente se distribuye el suelo en capas hasta alcanzar las cotas pertinentes para la subrasante. (p.114)

2.2.5.3. Estabilización de suelos con cal.

La mezcla del suelo con cal, genera un proceso llamado floculación que es una reacción química donde se produce el desplazamiento de las partículas de cal sobre la superficie del suelo arcilloso y efectúa un intercambio iónico, logrando que el suelo incremente su resiliencia a la

penetración y disminuya la expansión frente la presencia de agua. De igual manera, uno de los efectos más notables de la cal – suelo, es el cambio en su plasticidad, incrementando o decreciendo su límite líquido y limite plástico; además genera un incremento en la humedad óptima de compactación. (MTC, 2014, p.101)

Figura 16:

Estabilización de Suelos con Cal.



Nota: Adaptado de Estabilización de suelos con cal[imagen], por V. Yepes ,2021, Universidad Politécnica de Valencia, (<https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/cal/>).

2.2.5.4. Estabilización de suelos con cemento

Este proceso de estabilización se aplica para suelo granulares de clase A-1, A-2 y A-3, de forma que se adquiere un suelo endurecido y con mayor resiliencia. El contenido adecuado de agua que se tiene que utilizar se calcula mediante el ensayo de Proctor modificado. Además, se requiere una compactación que es de 95% de la densidad máxima seca según AASHTO T -180 en nivel de la subrasante y se aconseja desarrollar un óptimo proceso de curado para eludir la fisuramiento de la estabilización o las bases tratadas. (MTC, 2014, p.102)

Figura 17:

Aplicación de Estabilización Suelo Cemento Ciudad de Salto -Uruguay.



Nota: Adaptado de Twitter de Independencia de Salto[imagen], por Independencia del Valle,2019, Twitter (https://twitter.com/id_salto/status/1090035165739577344)

2.2.5.5. Estabilización con escoria

Según a lo que explica MTC (2014):

Este proceso de estabilización es uno de los métodos más eco amigables, se debe a que no necesita exploración de nuevas canteras, por lo que no afecta con el paisaje, también no exige ser procesado. Si el material elegido tendría insuficiente de finos, se puede adicionar cal (salvo viva) y arena fina. (p.104).



2.2.5.6. Estabilización por compactación.

Según Quezada Quezada (2017):

La compactación en la estabilización tiene como propósito mejorar el suelo encima el cual se va construir, sin modificar su estructura constitución inicial. Para lograr esto se realiza la compactación, practica en la cual se minoriza el volumen de vacíos que se encuentran en el suelo obteniendo una mayor densidad y una mejor organización de las fuerzas que ejercen en el suelo así logrando una alta firmeza, aboliendo posibles asentamientos. (p.11)

2.2.5.7. Estabilización por geo sintéticos

La aplicación de geo sintéticos de refuerzo en la estabilización de suelos posibilita el incremento de la capacidad del suelo que conforma la estructura de un pavimento, significando que existirá un mejoramiento de las propiedades mecánicas de este suelo y así incrementando la vida útil del pavimento. (MTC, 2014, p.109)

Figura 18:

Estabilización con Geo Sintéticos.



Nota: Adaptado de Separación y Estabilización[imagen], por Amanco Geosinteticos ,2021, <https://amancowavingeosinteticos.com/separacion-y-estabilizacion/>.



2.3. Hipótesis

2.3.1. *Hipótesis General*

Las propiedades físico-mecánicas mejorarán al adicionarle cal a porcentajes 1, 2, 3 % y cemento 5% en el suelo fino de la carretera de Cusco – Paruro, en el año 2021.

2.3.2. *Sub Hipótesis.*

Sub Hipótesis 01: Las propiedades de plasticidad mejorarán al adicionarle cal a porcentajes 1, 2, 3 % y cemento 5% en el suelo fino de la carretera de Cusco – Paruro, en el año 2021.

Sub Hipótesis 02: La densidad seca máxima mejorará al adicionarle cal a porcentajes 1, 2, 3 % y cemento 5% en el suelo fino de la carretera de Cusco – Paruro, en el año 2021.

Sub Hipótesis 03: Soporte California CBR mejorará en al adicionarle cal a porcentajes 1, 2, 3 % y cemento 5% en el suelo fino de la carretera de Cusco – Paruro, en el año 2021.

2.4. Definición de Variables

2.4.1. *Variables Independientes*

- Cemento portland tipo IP
- Cal hidratada

2.4.2. *Variables Dependientes*

- Propiedades físicas
- Propiedades mecánicas



2.4.3. Cuadro operacional de variables.

Tabla 12:

Cuadro Operacional de Variable.

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
VARIABLES DEPENDIENTES				
Propiedades físicas	Indicadores que proporcionan el probable funcionamiento del suelo como material subrasante.	Propiedad de plasticidad de suelo adicionado con cal y cemento	Índice de plasticidad (%)	
Propiedades Mecánicas	Establece la resistencia que ofrece al esfuerzo cortante del suelo y así poder valorar la calidad del terreno que será usado para subrasante Es el valor máximo que se obtiene al someter a un suelo a una misma energía de compactación. Este valor se genera mediante el ensayo de compactación.	Índice de soporte de california (CBR) del suelo adicionado con cal y cemento. Densidad seca máxima del suelo adicionado con cal y cemento.	Índice de CBR (%) Máxima densidad seca (gr/cm3)	Guías de observación, de laboratorios, formatos de evaluación de un suelo.
VARIABLE INDEPENDIENTES				
Cemento Tipo IP	Las proporciones de cemento de acuerdo a la masa de la muestra de suelo para el mejoramiento es de 5%	Cantidad de cemento adicionado en el suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Proporción de cal en 1% • Proporción de cal en 2% • Proporción de cal en 3% 	Hojas de cálculo, guías de observación de laboratorios, formatos de evaluación de un suelo
Cal hidratada	Las proporciones de cal de acuerdo a la masa de la muestra de suelo para el mejoramiento es de 1,2,3 %	Cantidad de cal adicionado en el suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Proporción de cemento en 5% 	



Capítulo III:

Metodología

3.1. Metodología de Investigación

3.1.1. *Enfoque de la Investigación*

El enfoque cuantitativo “es secuencial y probatorio”, consta de una serie de etapas, la cual parte de una idea, derivando a objetivos y preguntas de investigación, de las preguntas se establecen hipótesis y se determinan variables, se definen un plan y se miden las variables, se analizan las mediciones y se extrae las conclusiones (Hernández et al. ,2014, p.4).

Ortero (2018) Añade que “el enfoque cuantitativo tiene un desarrollo de investigación que se concentra en las mensuraciones numéricas. Emplea la observación del desarrollo de manera de recopilación de datos y los analiza para lograr responder interrogantes de la investigación” (p.3). Por lo cual este trabajo de investigación tiene un Enfoque cuantitativo.

3.1.2. *Nivel o Alcance de la Investigación*

Según Marroquín (2012) Nos indica que “una investigación Explicativa tiene como objetivo de encontrar “por qué” de los hechos a través el establecimiento de relaciones causa-efecto entre sus variables, mediante la prueba de hipótesis; sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo del conocimiento” (p.4).

De acuerdo a Ramos (2020) expone que “el Nivel de investigación Explicativa aplica estudios de tipo predictivo donde se puede establecer la relación causal entre diversas variables” (p.3). Por lo cual esta investigación según a su nivel es una Investigación Explicativa

3.1.3. *Método de Investigación*

El método hipotético – deductivo consiste en saber cómo la verdad o falsedad del enunciado básico dice acerca de la verdad o falsedad de la hipótesis que ponemos a prueba. A partir de la



verdad o falsedad de las consecuencias observables, que se obtienen deduciéndolas de las hipótesis, cuya verdad o falsedad estamos en condiciones de establecer directamente (Behar 2008, p.40). Por lo cual esta investigación tiene un Método Hipotético-deductivo.

3.1.4. Técnicas de Recolección de Información

Arias (2020) define como “la observación como técnica de recolección que trata de recopilar información sobre un fenómeno o situación que el investigador ha observado, además permite interpretar comportamientos, hechos, objetos entre otros; esta técnica se aplica en investigación cualitativa o investigación cuantitativa” (p.27).

Explicado por Tomayo y Silva (2022) dice que “la Observación experimental elabora datos en condiciones controladas por el investigador, ya que el investigador puede manipular la o las variables” (p.7), Por consiguiente, esta investigación tiene como técnica de recolección de datos la Observación Experimental.

3.1.5. Técnicas de Análisis de Datos

De acuerdo a Alva, (s.f.):

El análisis de datos cuantificados, el procedimiento estadístico de los datos permite un análisis adecuado que pueda tener diversos alcances, los cuales dependen de los objetivos de la investigación y de las hipótesis formuladas.

Este análisis puede estar orientada a determinar lo que es típico en un grupo estudiado, Indicar si existen variaciones entre los sujetos del grupo, señalando de que tipo y magnitud son y también mostrar la relación existente entre dos o más variable. (prr.6)

Por lo tanto, esta investigación tiene una Técnica de análisis de datos cuantitativos



3.2. Diseño de la Investigación

3.2.1. *Diseño Metodológico*

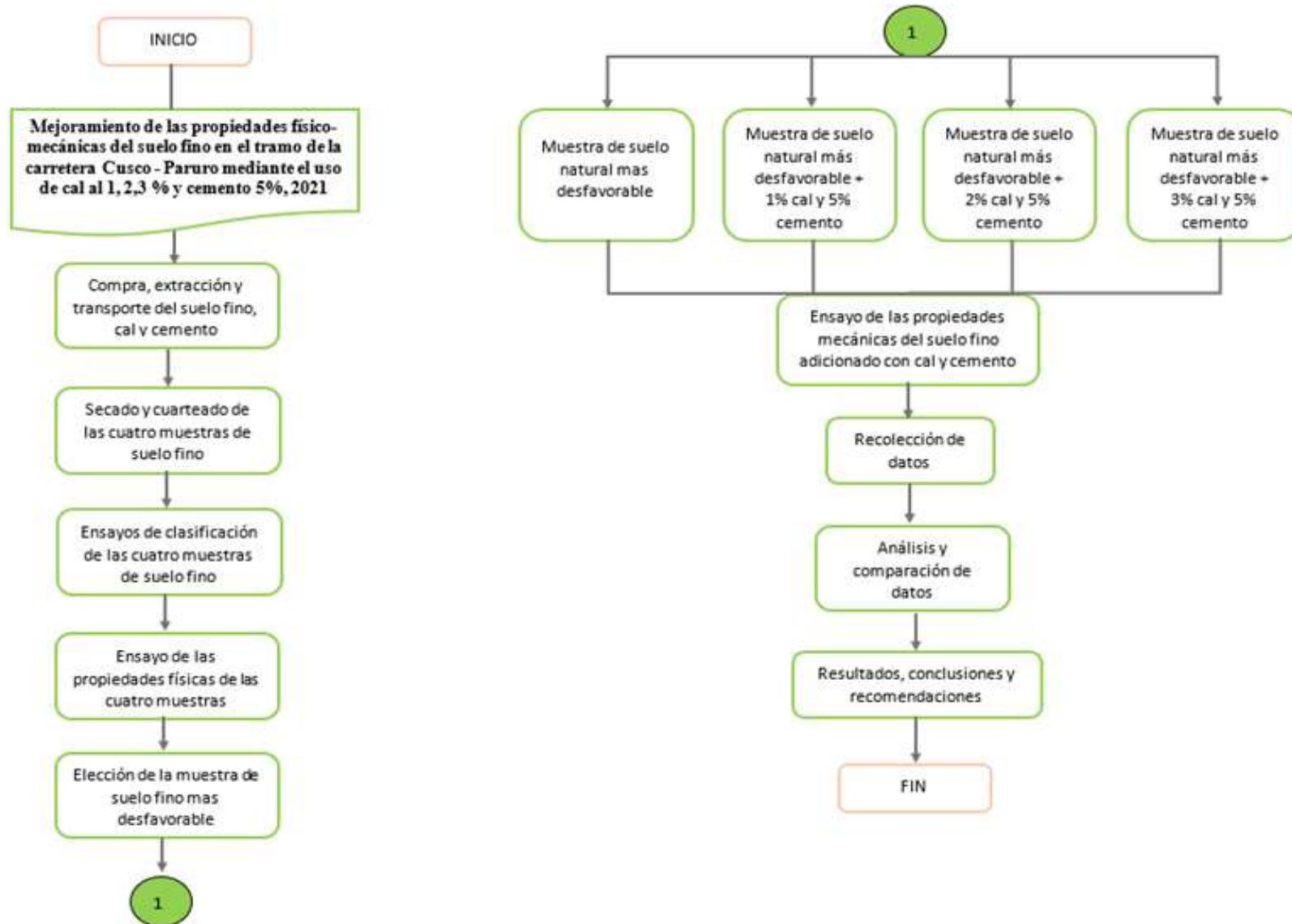
Describe que el diseño experimental es un proceso con la característica de verificar cuantitativamente la causalidad de una variable sobre otra, ello implica la manipulación de la variable independiente, esta variable independiente representa el tratamiento, factor, condición o intervención que el investigador manipula y/o controla para probar los efectos sobre la variable dependiente (Arias y Covinos ,2021, p.73)

Según Hernández et al. (2014) esta investigación usará el diseño de **tipo experimental**, ya que manipularemos intencionalmente la adición de los químicos (cal y cemento) y analizaremos los posibles resultados en nuestro suelo.

Por lo cual esta investigación tiene un **Diseño Experimental**.



3.2.2. Diseño de Ingeniería





3.3. Población y Muestra.

3.3.1. Población

3.3.1.1. Descripción de Población

En esta presente investigación la población de estudio será el suelo de la carretera de Cusco-Paruro ruta de Chimpahuaylla hasta el sector de Collparo Pampa, esta carretera según al expediente técnico de mantenimiento periódico de la red vial Departamental no pavimentada, se clasifica como una carretera de tercera clase con IMDA entre 400-201 Veh/día.

3.3.1.2. Cuantificación de Población.

La carretera de Cusco – Paruro hasta el sector de Collparo Pampa tiene un ancho de 6.25 metros con variaciones, una longitud de 2030 metros aproximadamente, con un área aproximada de 12687.5 m².

3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la Muestra.

Tal como señala el manual de suelos, Geología, Geotecnia. Sección Suelos y Pavimentos del ministerio de transportes y comunicaciones (2014) para una carretera de tercera clase le corresponde realizar 02 calicatas por cada kilómetro ubicadas de forma alternada. Siguiendo este parámetro se hizo las cuatro calicatas a una profundidad de 1.5 m donde se extrajo una cantidad de suelo de la carretera Cusco -Paruro. Estas cuatro calicatas están ubicadas es las coordenadas indicadas en la tabla

Tabla 13:

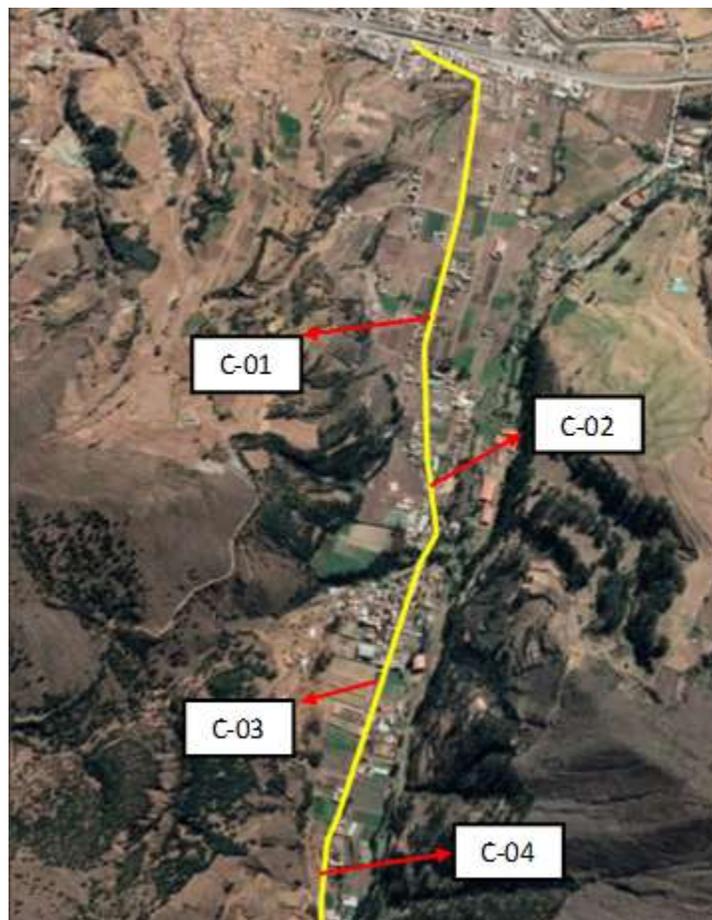
Ubicación Geográfica de las Calicatas Excavadas.

Ubicación Geográfica de las Calicatas	
Región	Cusco
Provincia	Cusco
Distrito	San Jerónimo

Calicata 01 (C-01)	13° 33' 44.06" S
	71° 52' 47.33" O
Calicata 02 (C-02)	13° 33' 58.87" S
	71° 52' 47.02" O
Calicata 03 (C-03)	13° 34' 13.95" S
	71° 52' 50.73" O
Calicata 04 (C-04)	13° 34' 32.22" S
	71° 52' 54.55" O

Figura 19:

Ubicación Geográfica de las Muestras Extraídas.



Nota: Adaptado de Google Earth, edición propia. Google. (s.f. -d)

Para la elección de la ubicación de la calicata se observó la situación de la carretera, donde se pudo evidenciar que a los 700 metros de inicio de la carretera se podía observar los problemas



de esta carreta, presencia de erosión de la subrasante, presencia de lodazales, baches, etc. Por esta razón se pensó que era la distancia adecuada de la primera calicata para la obtención de datos más significativos, luego se alternó las siguientes calicatas cada 500 m según la primera calicata.

3.3.2.2. Cuantificación de la Muestra

Según el MTC en el manual de ensayo de materiales dice que el tamaño y tipo de muestra requerida depende de los ensayos que se vayan a efectuar por eso da una guía para el tamaño de muestra que se extraerá, el MTC (2016) dice:

- Clasificación visual: 0.50 kg– 500 g.
- Análisis granulométrico y constantes de suelos no granulares: 0,50 a 2,5 kg. ·
- Ensayo de compactación y granulometría de suelo-agregado granular: 20 - 40 kg. ·
- Producción de agregados o ensayo de propiedades de agregados: 50 - 200 kg. (p.15)

Gracias a esta guía de tamaño de muestra se extrajo 80 kilogramos de cada calicata, estos 80 kilos se midieron en un recipiente (balde) con una capacidad de 15 kilos cada uno, entonces se extrajo 6 baldes de 15 kilos por calicata, al tener las 4 calicatas se extrajo un total de 320 kilogramos de muestra.

Tabla 14:

Cuantificación de las Muestras de Mejoramiento de Suelo con Cal 1;2;3% y Cemento 5%.

Ensayos	Suelo natural	cal (1;2;3%) y cemento (5%)	Normas	N° de ensayos	Cantidad de suelo/calicata (kg/calicata)
Limite Liquido	4	12	MTC E - 110	16	3
Limite plástico	4	12	MTC E - 111	16	3
Proctor modificado	4	12	MTC E - 115	16	30
CBR	4	12	MTC E - 132	16	40
Total	16	48		64	76

Nota: Fuente del MTC



3.3.2.3. Método de Muestreo

El proceso de muestreo de la presente investigación es la no probabilística, debido a que no se seleccionó aleatoriamente los puntos de muestreo, ya que se eligió los puntos de muestreo por conveniencia e intencionada por el investigador, de esta forma que las muestras son obtenidas de la carretera Cusco – Paruro, que fue interés para la evaluación de esta investigación

3.3.2.4. Criterios de Evaluación de Muestra

Para la correcta ejecución de la investigación, se precisa que las muestras cumplan con algunos criterios como se explica en los siguientes puntos:

- El cemento usado para el mejoramiento de las propiedades de este tipo de suelo debe cumplir con los estándares de calidad que están establecidas en las normas con el objetivo de lograr una muestra de buena calidad.
- la cal utilizada para el mejoramiento de las propiedades de este tipo de suelo también debe cumplir con los estándares de calidad que están establecidas en las normas con el objetivo de obtener una muestra de buena calidad.
- La elaboración y preparación de los especímenes se debe realizar de forma que realicen dentro los parámetros que están establecidos en las normas y manuales para obtener datos más exactos y debidamente realizados.
- Al momento de hacer la mezcla entre el suelo y los aditivos (cal y cemento) se deben cumplir con el criterio de homogeneidad, con la masa o peso señalado.

3.3.3. Criterios de Inclusión.

- Los especímenes ensayados son provenientes del suelo proveniente de la carretera Cusco-Paruro.



- De las muestras de las cuatro calicatas sustraídas se evaluarán así mismo encontrando el suelo más desfavorable.
- Todos los ensayos con adición de cal y cemento son del tipo de suelo Limo arcilloso.

3.4. Instrumentos

3.4.1. Instrumentos metodológicos o Instrumentos de Recolección de datos

3.4.1.1. Instrumentos metodológicos para ensayo de Granulometría



Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo fino en el tramo de la carretera Cusco -
Paruro mediante el uso de cal al 1, 2,3 % y cemento 5%, 2021.

FORMATO PARA GRANULOMETRÍA

Fecha: _____

Calicata N. °: _____

Ubicación: _____

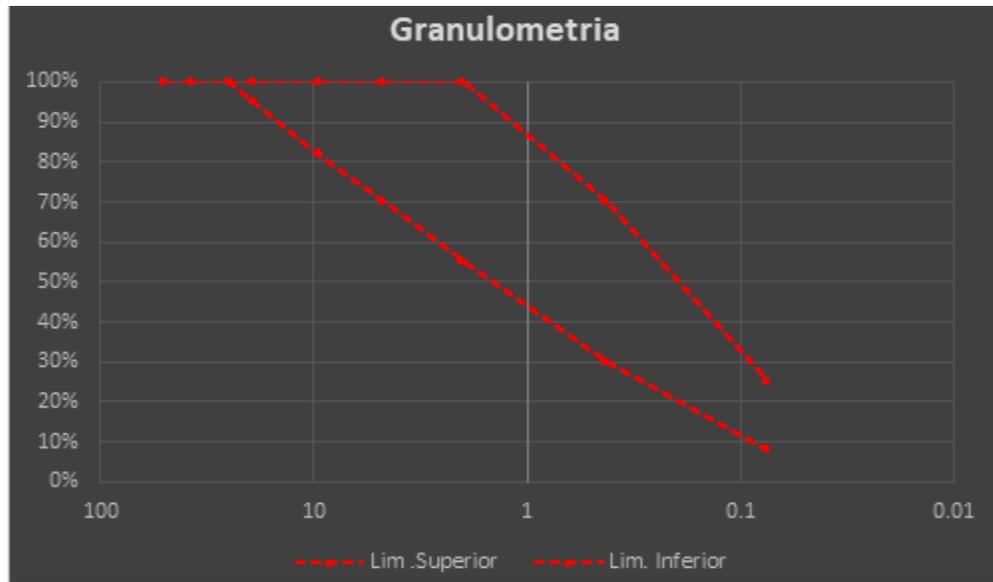
Profundidad: _____

Ejecutado por: _____

Otros: _____

Muestra seca antes del lavado	(gr)
Muestra seca después del lavado	(gr)

Tamiz	Abertura	PESO RETENIDO (gr)	%Retenido en fracción lavada	Corrección en fracción lavada (%)	%Retenido corregido en fracción lavada	% Retenido corregido	%Retenido acumulado	%Que pasa
4"	100							
3"	75							
2"	50							
1 1/2"	37.5							
1"	25							
3/4"	19							
3/8"	9.5							
N°4	4.75							
N°10	2							
N°20	0.85							
N°40	0.425							
N°60	0.25							
N°100	0.106							
N°200	0.075							
cazuela	-							
Lavado	-							
Fracción Retenida en lavado								
Total								



% de grava (retiene Tamiz N°4)=	
% de arena (pasa N°4 y retiene N°200)=	
% de finos (pasa Tamiz N°200)=	



3.4.1.2. Instrumentos Metodológicos para Clasificación de Suelos



Universidad Andina del Cusco

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
Laboratorio de Mecánica de suelos y Pavimentos



Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo fino en el tramo de la carretera Cusco - Paruro mediante el uso de cal al 1, 2,3 % y cemento 5%, 2021.

FORMATO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

Fecha: _____

Calicata N. ^a: _____

Ubicación: _____

Profundidad: _____

Ejecutado por: _____

Otros: _____

INFORMACION PARA LA CLASIFICACIÓN		
Muestra		
Peso Inicial		
Limite Liquido		
Pasa el Tamiz #200		
Índice de plasticidad		

TIPO DE SUELO	
AASHTO	
SUCS	

Comentario: _____

INFORMACION PARA LA CLASIFICACIÓN		
Muestra		
Peso Inicial		
Limite Liquido		
Pasa el Tamiz #200		
Índice de plasticidad		

TIPO DE SUELO	
AASHTO	
SUCS	

Comentario: _____



INFORMACION PARA LA CLASIFICACIÓN		
Muestra		
Peso Inicial		
Limite Liquido		
Pasa el Tamiz #200		
Índice de plasticidad		

TIPO DE SUELO	
AASHTO	
SUCS	

Comentario: _____

INFORMACION PARA LA CLASIFICACIÓN		
Muestra		
Peso Inicial		
Limite Liquido		
Pasa el Tamiz #200		
Índice de plasticidad		

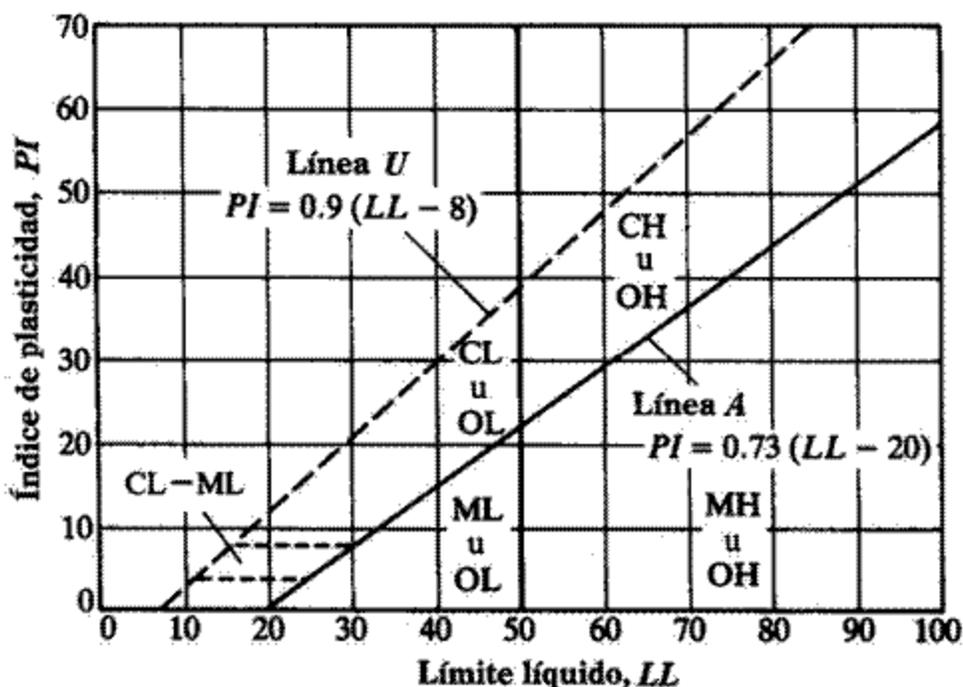
TIPO DE SUELO	
AASHTO	
SUCS	

Comentario: _____



Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo fino en el tramo de la carretera Cusco - Paruro mediante el uso de cal al 1, 2,3 % y cemento 5%, 2021.

FORMATO PARA CLASIFICACION DE SUELOS



Carta de Plasticidad de casa grande		



Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo fino en el tramo de la carretera Cusco - Paruro mediante el uso de cal al 1, 2,3 % y cemento 5%, 2021.

FORMATO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

Tabla 15:

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Criterios para la asignación de grupo y nombres de grupo con uso de pruebas de laboratorio				Clasificación de suelos		
				Símbolo	Nombre de grupo	
Suelos de partículas gruesas Mas del 50% de la fracción gruesa Mas de 50% retenido en la malla N°200	Gravas	Gravas Limpias	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada	
		Menos de 5% de finos	$Cu < 4$ y/o $1 \leq Cc \leq 3$	GP	Grava mal graduada	
		Gravas con finos más del 12% de finos	Los finos se clasifican como ML o MH	GM	Grava limosa	
			Los finos se clasifican como CL o CH	GC	Grava arcillosa	
Arenas El 50% de la fracción gruesa pasa el tamiz N°4.		Arenas Limpias	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada	
		Menos del 5% de finos	$Cu < 6$ y/o $1 \leq Cc \leq 3$	SP	Arena mal graduada	
		Arenas con finos Mas del 12% de finos	Los finos se clasifican como ML o MH	SM	Arena Limosa	
			Los finos se clasifican como CL o CH	SC	Arena Arcillosa	
Suelos de partículas finas El 50% o más pasa la malla N°200.	Limos y Arcillas	Inorgánicos	IP > 7 se grafica en o arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad (ligera)	
			IP < 4 y se grafica en o arriba de la línea "A"	ML	Limo	
	Limite Liquido menor que 50.	Orgánicos	<i>Limite liquido secado en horno</i>		OL	Arcilla Orgánica
			<i>Limite liquido no secado < 0.75</i>			
	Limite Liquido 50 o más.	Inorgánicos	IP se grafica en o arriba de la línea "A"	CH	Limo orgánico	
			IP se grafica debajo de la línea "A"	MH	Arcilla Orgánica	
	Orgánicos	<i>Limite liquido secado en horno</i>		OH	Limo orgánico	
		<i>Limite liquido no secado < 0.75</i>				
Suelos orgánicos altamente		Principalmente materia inorgánica de color oscuro y con olor orgánico		PT	Turba	

Nota: Adaptado de Fundamentos de la ingeniería de cimentaciones (pg.16), por Braja D., 2006,

Thomson Learning.

Según SUCS	—	
	—	
	—	
	—	



**Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo fino en el tramo de la carretera
Cusco - Paruro mediante el uso de cal al 1, 2,3 % y cemento 5%, 2021**

FORMATO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

Tabla 16:

Clasificación de Suelos AASHTO.

Clasificación general	Suelos granulares						Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.075 mm (N.º 200)					
	35% máximo que pasa por tamiz de 0.075 mm (N.º 200)		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Clasificación por grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					
Análisis granulométrico												
% que pasa por el tamiz:												
2mm (Nº10)	Max 50											
0.425mm (Nº40)	Max 30	Max 50	Min 51									
F: 0.075 mm (Nº200)	Max 15	Max 25	Max 10	Max 35	Max 35	Max 35	Max 35	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Característica de la fracción que pasa por el tamiz (N.º 40)												
LL: Limite liquido				Max 40	Min 41	Max 40	Max 40	Max 40	Min 41	Max 40	Min 40	Min 41
IP: Índice de plasticidad	Max 6	Max 6	N.P.	Max 10	Max 10	Min 11	Min 10	Max 10	Max 10	Min 11	Min 11	Min 11
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas	Arenas finas	Gravas y arenas limos o arcillas					Suelos Limosos	Suelos arcillosos			
Estimación general del suelo como sub rasante	Excelente a bueno						Regular e insuficiente					

Según AASHTO	—				
	—				



3.4.1.3. Instrumentos Metodológicos de Datos para Ensayo de Contenido de Humedad



Universidad
Andina
del Cusco

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
Laboratorio de Mecánica de suelos y Pavimentos



Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo fino en el tramo de la carretera Cusco - Paruro mediante el uso de cal al 1, 2,3 % y cemento 5%, 2021.

FORMATO PARA ENSAYO DE CONTENIDO DE HUEMDAD

Fecha: _____

Calicata N. ^a: _____

Ubicación: _____

Profundidad: _____

Ejecutado por: _____

Otros: _____

1	Denominación de la tara		
2	Peso del suelo húmedo +Peso de la tara (gr)		
3	Peso del suelo seco + Peso de la tara (gr)		
4	Peso del agua retenida (gr)		
5	Peso de la tara (gr)		
6	Peso del suelo seco (gr)		
7	Contenido de humedad (%)		

Calicata	Contenido de humedad %	
----------	------------------------	--



3.4.1.4. Instrumentos Metodológicos para Ensayo de Limite Líquido y Limite

Plástico



Universidad
Andina
del Cusco

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
Laboratorio de Mecánica de suelos y Pavimentos



Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo fino en el tramo de la carretera
Cusco - Paruro mediante el uso de cal al 1, 2,3 % y cemento 5%, 2021.

FORMATO PARA LA PRUEBA DE LIMITES LIQUIDO , PLASTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Fecha: _____

Calicata N. ^a: _____

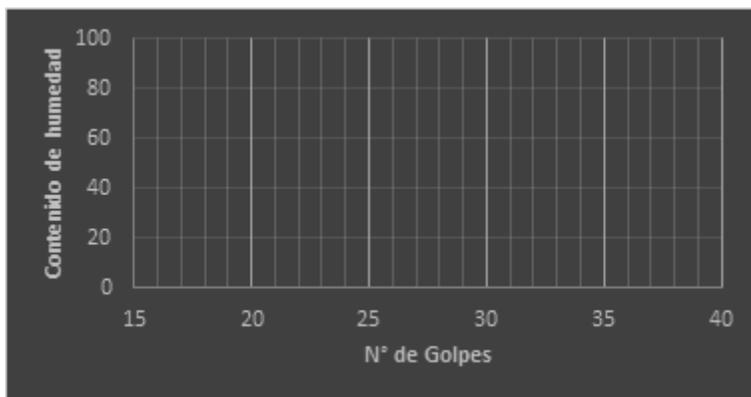
Ubicación: _____

Profundidad: _____

Ejecutado por: _____

Otros: _____

LIMITE LIQUIDO							
Número de Tara (T)	Número de golpes	(T)+Total de peso húmedo	(T)+Total peso seco	Peso Agua	Tara (T)	Muestra Peso Seco	Humedad (%)



LIMITE PLASTICO							
Número de Tara (T)	(T)+Total de peso húmedo	(T)+Total peso seco	Peso Agua	Tara (T)	Muestra Peso Seco	Humedad (%)	LIMITE PLASTICO (%)

Limite Liquido (LL)=

Limite Plástico (LP)=

Índice de plasticidad (IP)=



3.4.1.5. Instrumentos Metodológicos para Ensayo de Proctor Modificado



Universidad
Andina
del Cusco

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
Laboratorio de Mecánica de suelos y Pavimentos



**Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo fino en el tramo de la carretera
Cusco - Paruro mediante el uso de cal al 1, 2,3 % y cemento 5%, 2021.**

FORMATO ENSAYO DE COMPACTACION (Proctor modificado).

Fecha: _____

Calicata N.º: _____

Ubicación: _____

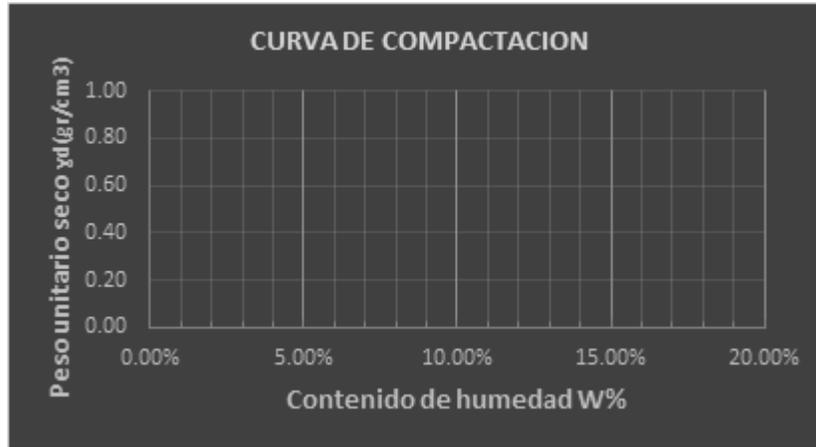
Profundidad: _____

Ejecutado por: _____

Otros: _____

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum				
(C) + Muestra seca				
Peso del Agua				
Capsula (C)				
Peso muestra seca				
Porcentaje de Humedad (W)				

DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:		
	Peso del molde		
Porcentaje de Humedad (Wm)			
Molde + Peso de Muestra			
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)			
Densidad húmeda (gr/cm ³)			
Densidad seca (γ_{seca}) (gr/cm ³)			



Porcentaje de Humedad Optimo (%)		Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	
----------------------------------	--	--	--



3.4.1.6. Instrumentos Metodológicos para Ensayo de CBR



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
Laboratorio de Mecánica de suelos y Pavimentos



**Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo fino en el tramo de la carretera
Cusco - Paruro mediante el uso de cal al 1, 2,3 % y cemento 5%, 2021.**

FORMATO PARA EL ENSAYO DE CBR

Fecha: _____

Calicata N. ^a: _____

Ubicación: _____

Profundidad: _____

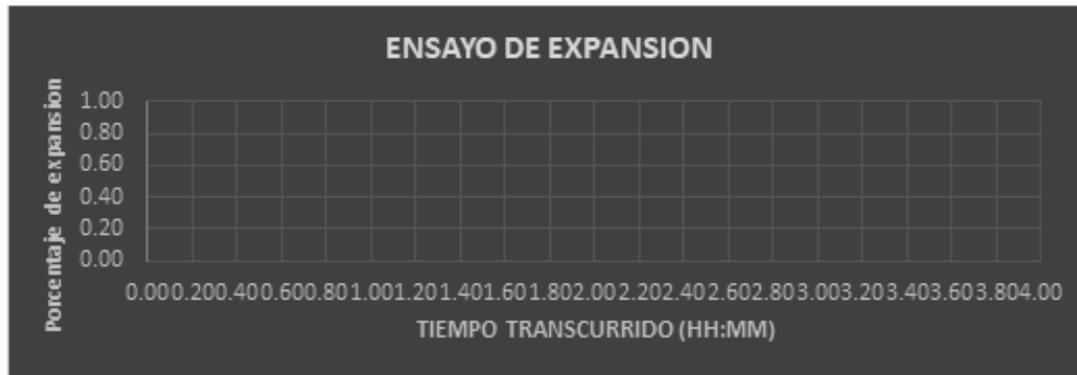
Ejecutado por: _____

Otros: _____

Ensayo compactación (CBR)						
Golpes	56		26		12	
Número de capas						
Condición de la Muestra						
Capsula Numero						
Tara + muestra húmeda (gr)						
Tara + Muestra seca (gr)						
Agua (gr)						
Peso de la Tara (gr)						
Peso de la muestra seca (gr)						
Porcentaje de humedad (%)						
Volumen del molde (cm ³)						
Peso del molde (gr)						
Peso de molde + muestra húmeda(gr)						
Peso del suelo húmedo(gr)						
Peso de la muestra seca (gr)						
Densidad Húmeda (gr/cm ³)						
Densidad Seca (gr/cm ³)						



Ensayo de Expansión													
Tiempo		55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
Días	HH:MM	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión
			Pulg	mm			Pulg	mm			Pulg	mm	



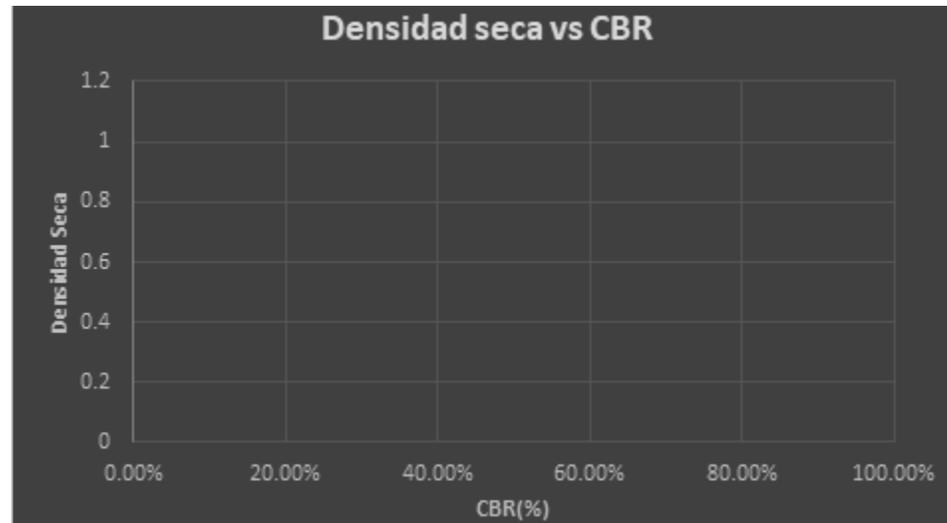


Ensayo de Penetración														
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm ²)	Pistón (cm ²) =		55 golpes				26 golpes				12 golpes			
	Dial (0.001")	Penetración (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm ²	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm ²	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm ²	CBR %





CORRECCIONES	MUESTRA 1			MUESTRA 2			MUESTRA 3		
Carga Unitaria Patrón	Penetración corregida	Esfuerzo corregido	CBR Corregido	Penetración corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm2	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%



Golpes	CBR		Densidad Seca
	0.1"	0.2"	
55			
26			
12			

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM		
CBR al 95% DSM		

3.4.2. Instrumentos de Ingeniería.

Figura 20:

Enseres para Ensayo Limites de Atterberg.



Nota: Imagen capturada en la fecha 28 de agosto del 2021.

Figura 21:

Enseres para Ensayo de Granulometría.



Nota: Imagen capturada en la fecha 26 de agosto del 2021.

Figura 22:

Enseres para el Ensayo de Proctor Modificado.



Nota: Imagen capturada en la fecha 24 de agosto del 2021.

Figura 23:

Enseres para el Ensayo de CBR.



Nota: Imagen capturada en la fecha 04 de octubre del 2021.



3.5. Procedimientos de Recolección de Datos

3.5.1. Ensayo de Granulometría (MTC E.107)

a) Instrumentos utilizados en la prueba

- Bascula
- Estufa eléctrica con temperatura constante hasta de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Envases
- Cepillo y brocha
- Tamices de malla cuadrada, Como la siguiente tabla:

Tabla 17:

Mallas para el Ensayo de Granulometría.

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
1 ½"	38,100
¾"	19,000
3/8"	9,500
N°4	4,760
N°8	2,360
N°16	1,100
N°30	0,590
N°50	0,297
N°100	0,149
N°200	0,075

Nota: Adaptado de Manual de ensayo de Materiales (Pg.44), por MTC 2016, Instituto de Construcción y Gerencia (ICG)

b) Procedimiento

- ✓ Se selecciona una cierta cantidad de muestra mediante el cuarteo y se pesa antes del lavado.
- ✓ Se lava la muestra, y luego se deja secar para el tamizado
- ✓ Se selecciona las mallas respectivas con tamaños adecuados para proporcionar la información requerida. Se encaja los tamices en orden de abertura decreciente.

- ✓ Luego agitamos los tamices la parte superior contra la inferior con movimientos de arriba hacia arriba y a una velocidad constante.
- ✓ Terminada la operación se pesa la cantidad de material permanecido en cada tamiz.

3.5.2. Clasificación SUCS.

a) Instrumentos utilizados en la prueba

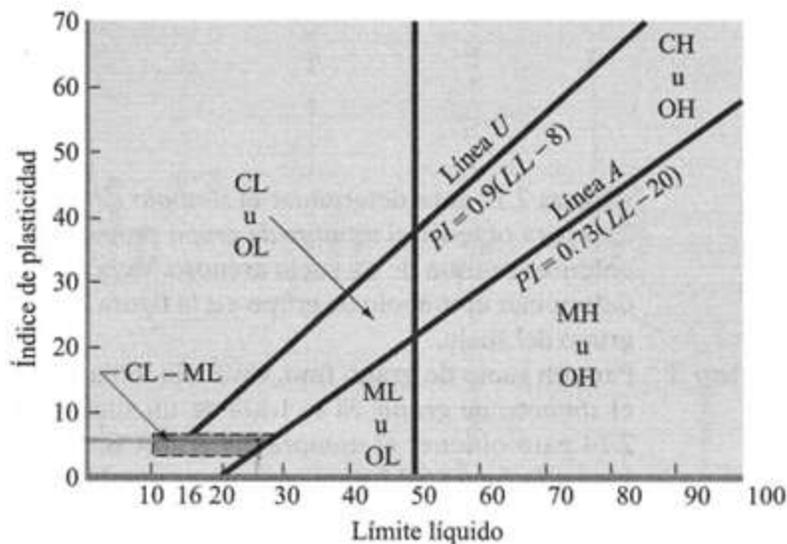
En esta clasificación SUCS no se hace uso de ningún instrumento, solamente haremos el empleo de tablas.

b) Procedimiento

Teniendo los datos pertinentes del Limite Liquido, plástico e índice de plasticidad, continuaremos aplicando las tablas.

Figura 24:

Carta de Plasticidad Casa Grande.



Nota: adaptado de Fundamentos de ingeniería geotécnica (Pg.41), por Braja D.2001, Thomson Learning.



Esta carta de plasticidad de Casagrande se utiliza en la clasificación SUCS, donde en el eje X está ubicado el límite líquido (LL) y en el eje Y está ubicado el índice de plasticidad. En donde, al intersecar estos dos valores se puede identificar el tipo de suelo

Tabla 18:

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos				Clasificación de suelos		
				Símbolo	Nombre de grupo	
Suelos de partículas gruesas Mas de 50% retenido en la malla N°200	Gravas Mas del 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz N°4.	Gravas Limpias	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada	
		Menos de 5% de finos	$Cu < 4$ y/o $1 \leq Cc \leq 3$	GP	Grava mal graduada	
		Gravas con finos más del 12% de finos	Los finos se clasifican como ML OMH	GM	Grava limosa	
			Los finos se clasifican como CL o CH	GC	Grava arcillosa	
	Arenas El 50% de la fracción gruesa pasa el tamiz N°4.	Arenas Limpias	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada	
		Menos del 5% de finos	$Cu < 6$ y/o $1 \leq Cc \leq 3$	SP	Arena mal graduada	
		Arenas con finos Mas del 12% de finos	Los finos se clasifican como ML o MH	SM	Arena Limosa	
			Los finos se clasifican como CL o CH	SC	Arena Arcillosa	
	Suelos de partículas finas El 50% o más pasa la malla N°200	Limos y Arcillas Limite Liquido menor que 50.	Inorgánicos	$IP > 7$ se grafica en o arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad (ligera)
				$IP < 4$ y se grafica en o arriba de la línea "A"	ML	Limo
Limos y Arcillas Limite Liquido 50 o más.		Orgánicos	<u>Limite liquido secado en horno</u>	OL	Arcilla Orgánica	
			<u>Limite liquido no secado</u> < 0.75			
		Inorgánicos	IP se grafica en o arriba de la línea "A"	CH	Limo orgánico	
			IP se grafica debajo de la línea "A"	MH	Arcilla Orgánica	
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia inorgánica de color oscuro y con olor orgánico	<u>Limite liquido secado en horno</u>	OH	Limo orgánico		
		<u>Limite liquido no secado</u> < 0.75				
			PT	Turba		

Nota: Adaptado de Fundamentos de la ingeniería de cimentaciones (pg.16), por Braja D., 2006, Thomson Learning.



3.5.3. Clasificación ASSHTO.

a) Instrumentos utilizados en la prueba

En esta clasificación AASHTO no se hace uso de ningún instrumento, solamente haremos el empleo de tablas.

b) Procedimiento

Teniendo los datos pertinentes del Limite Liquido, plástico e índice de plasticidad, continuaremos aplicando las tablas.

c) Recopilación de datos

Tabla 19:

Clasificación de Suelos Basado en AASHTO M145.

Clasificación general	Suelos granulares 35% máximo que pasa por tamiz de 0.075 mm (N.º 200)						Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.075 mm (N.º 200)					
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7		
Clasificación por grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					
Análisis granulométrico % que pasa por el tamiz:												
2mm (Nº10)	Max 50											
0.425mm (Nº40)	Max 30	Max 50	Min 51									
F: 0.075 mm (Nº200)	Max 15	Max 25	Max 10	Max 35	Max 35	Max 35	Max 35	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	Min36
Característica de la fracción que pasa por el tamiz (N.º 40)												
LL: Limite liquido				Max 40	Min 41	Max 40	Max 40	Max 40	Min 41	Max 40	Min 40	Min 41
IP: Índice de plasticidad	Max 6	Max 6	N.P.	Max 10	Max 10	Min 11	Min 10	Max 10	Max 10	Min 11	Min 11	Min 11
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas	Arenas finas	Gravas y arenas limos o arcillas				Suelos Limosos		Suelos arcillosos			
Estimación general del suelo como sub rasante	Excelente a bueno					Regular e insuficiente						

Nota: Adaptado de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (Pg.34) , por MTC,2014,MTC.



3.5.4. *Evaluación del Contenido de Humedad (MTC E.108).*

a) Instrumentos utilizados en la prueba

- Estufa eléctrica de secado
- Balanza con sensibilidad 0.01
- Recipientes

b) Procedimiento

- ✓ Establecer y copiar la masa en recipiente limpio y seco
- ✓ Seleccionar la muestra de ensayo representativo traído desde la calicata.
- ✓ Colocar la muestra húmeda en el contenedor ya antes pesado, pesar la muestra húmeda con el contenedor.
- ✓ Se coloca el material húmedo con el contenedor en el horno, hasta obtener una masa continua.
- ✓ Luego que el material se ha evaporado a peso continuo, se deja enfriar para que no afecte a la balanza. Por último, se pesa la muestra secada con el contenedor.

3.5.5. *Evaluación del Limite Liquido (MTC E.110).*

a) Instrumentos utilizados en la prueba.

- Probeta de 100 ml
- Mortero
- Acanalador
- Tamiz N°40
- Instrumento de Limite Liquido (Casa grande)
- Espátula
- Estufa



- Bascula, con sensibilidad de 0.01 g.
- Capsula para muestras.

b) Procedimiento

- ✓ Previamente se prepara la muestra seca, disgregando con el mortero para que pueda pasar por la malla N°40 para obtener un aproximado de 250gr de muestra que será ensayada.
- ✓ Colocar la muestra tamizada por la malla mencionada en un recipiente y le agregamos pequeñas dotaciones de agua para humedecerla.
- ✓ Con la espátula combinamos hasta tener una muestra humedecida con un color uniforme, y lograr tener una masa homogénea y pegajosa.
- ✓ Se calibra la copa de Casagrande, la mayor profundidad de la masa de suelo tiene que ser igual a la parte superior del acanalador según ASTM.
- ✓ Continuando, se proporciona una pequeña porción de la muestra húmeda en la copa de casa grande, distribuyendo y nivelando la superficie
- ✓ Se pasa el acanalador por medio de la copa para poder dividir la muestra colocada.
- ✓ Esta abertura se tiene que observar claramente, la muestra teniendo que estar completamente separada en dos.
- ✓ Sujetando la manivela con un movimiento continuo se suministra un determinado número de golpes a la copa que harán que cierre la abertura de la muestra en 12.7 mm.



- ✓ Al momento de cerrarse la abertura en 12.7mm , se toma nota del número de golpes que fueron necesarios y luego se toma una pequeña porción de la muestra en la parte del medio justo donde se hizo el cierre .

3.5.6. Evaluación del Limite Plástico (LP) e Índice de Plasticidad (IP) (MTC E.111).

a) Instrumentos utilizados en la prueba

- Probeta de 100 ml
- Estufa eléctrica
- Bascula, con sensibilidad a 0.01 g.
- Recipiente.
- Mortero
- Tamiz, de 426 μm (N°40)
- Vidrio grueso esmerillado.

b) Procedimiento

- ✓ Se sustrae una porción de 20 gr de la prueba de limite líquido para poder realizar esta prueba, ya que el material ya está preparado
- ✓ Mezclar el suelo y dejar que elimine un poco de humedad hasta lograr tener una consistencia con la que se puede enrollar sin que este se pegue en las manos, enrollando y esparciendo sobre la placa de vidrio; hasta conseguir rollitos delgados.
- ✓ Los rollitos tienen que ser de un diámetro de 3.2 mm, esta medida alcanzada con un buen enrollado continuo.
- ✓ Se continua hasta observar que los rollitos comiencen a tener fisuras y destruirse.



- ✓ Al producirse el Limite plástico se sitúa las muestras de rollitos en un recipiente y se comienza a tomar dato de los pesos antes y después puesto en la estufa.
- ✓ Se continua el mismo proceso para poder calcular el contenido de humedad y su Limite plástico.

3.5.7. Evaluación de Compactación – Prueba Proctor Modificado, Método “A” (MTC E.115).

a) Instrumentos utilizados en la prueba

- Bascula, con aproximado de 0.5gr
- Estufa Eléctrica
- Tamiz 4.75mm (N°4)
- Molde de 4 pulgadas (101,6mm \pm 0.4)
- Pisón manual
- Extractor de Muestra
- Probeta de 100 ml
- Recipiente

b) Procedimiento

- ✓ Se prepara una cantidad de muestras, 4 a 5 de 3 kg aproximadamente pasando por la malla N°4.
- ✓ Se hace la mezcla con agua para humedecerla con una cantidad de agua a porcentajes hasta llegar al ideal estimado, incrementando el % de agua.
- ✓ Se coloca la muestra en el molde en 5 capas de a 25 golpes cada capa.
- ✓ Estos golpes tienen que ser en caída libre, llegando al máximo nivel del pisón, abarcando toda el área del molde.



- ✓ La capa definitiva se encuentra en el collarín, el cual se retirará para un luego enrasamiento.
- ✓ Se extrae el collarín y se hace el respectivo enrasamiento de la muestra interna en el molde.
- ✓ Se pesa el suelo-molde con antes haber retirado la base, pesado se sustrae un espécimen de la prueba ubicado en la parte central aproximados 500 gr.
- ✓ Se coloca los especímenes en la estufa para poder calcular el contenido de humedad.
- ✓ Se repite el mismo proceso de compactación con humedades diferentes.

3.5.8. Evaluación CBR de Suelos en Laboratorio (MTC E.132).

a) Instrumentos utilizados en la prueba

- Bascula
- Estufa eléctrica
- Tamiz N°4
- Molde de metal
 - Pisón
 - Deformímetro en trípode (0.01 mm)
 - Prensa de penetración.

b) Procedimiento

- ✓ Previamente realizado el ensayo Proctor modificado, se prepara la muestra necesaria para ensayarla.
- ✓ Se calcula la cantidad de muestra necesaria para poder ensayar.



- ✓ Hallado el contenido de humedad óptimo mediante la prueba Proctor, el cual será el adecuado para poder realizar este ensayo
- ✓ Se usa tres moldes previamente preparados con las placas metálicas colocados en la base.
- ✓ Se compacta la muestra en los diferentes moldes a diferente número de golpes de 55,26 y 12 respectivamente.
- ✓ Al terminar de compactar se engrasa la parte superior y se saca la placa metálica de la base.
- ✓ Volteamos el molde para poder colocar la sobrecarga encima de la muestra compactada.
- ✓ Se coloca el deformímetro en trípode justo al borde del molde registrando la lectura de este aparato.
- ✓ Sumergimos los moldes en un contenedor lleno de agua por un tiempo de cuatro días. En el periodo de los cuatro días, se deberá tener registrada las lecturas del deformímetro conforme pasa el tiempo.
- ✓ Transcurrido el periodo de 4 días se extrae los moldes y se drena por 15 minutos, para a continuación colocarlo en la prensa de penetración, ajustándolo previamente para que esté debidamente ubicado.
- ✓ Se pesa el molde con su base, colocando el collar más el disco espaciador encima de este, ponemos encima de la estructura de la muestra invertida la placa perforada de vástago, anillos similares a la sobrecarga y poder simular la presión inicial que produce todas las capas de los materiales que van sobre el suelo.



- ✓ Aplicando una sobrecarga para simular la intensidad de carga igual al peso del pavimento (con más o menos 2.27 kg de aproximación ,pero no menor a 4.54 kg) para poder prevenir el empuje del suelo interno del agujero de las pesas de sobrecarga encima de la muestra , siguiente se lleva el conjunto a la prensa, colocándolo en el agujero central de la sobrecarga , añadiendo lo demás de la sobrecarga , continuando montando el dial medidor para que se pueda medir la penetración aplicando una carga de 50 N para que el pistón penetre.
- ✓ colocar desde el punto nulo las agujas de los diales medidores, el del anillo dinamométrico, y el de control de penetración. Para prevenir que la lectura de penetración se vea influenciada por la lectura del anillo de carga, el control de penetración tiene que apoyarse entre el pistón y la muestra o molde.
- ✓ Anotar las lecturas de penetración a 0.025, 0.050, 0.075, 0.100,0.200,0.300,0.400 y 0.500 pulgadas de penetración.
- ✓ Terminada la prueba de penetración, dejando que se recupere el suelo penetrado y se continua sustrayendo muestras de este suelo para su cálculo de humedad final.

3.6. Procedimiento de Análisis de datos

3.6.1. Ensayo de Granulometría

3.6.1.1. Procesamiento y Cálculos ensayo de Granulometría

Se calculo el porcentaje retenido y porcentaje de material pasante con las siguientes expresiones:

Formula 1:

Porcentaje Retenido.

$$\text{Porcentaje Retenido}=100 \times \frac{\text{Peso Retenido Corregido}}{\text{Peso Total}} ; [\%]$$



Formula 2:

Porcentaje Retenido Acumulado.

$$\text{Porcentaje Retenido acumulado} = \% \text{Retenido Acumulado Anterior} + \% \text{Retenido}; [\%]$$

Formula 3:

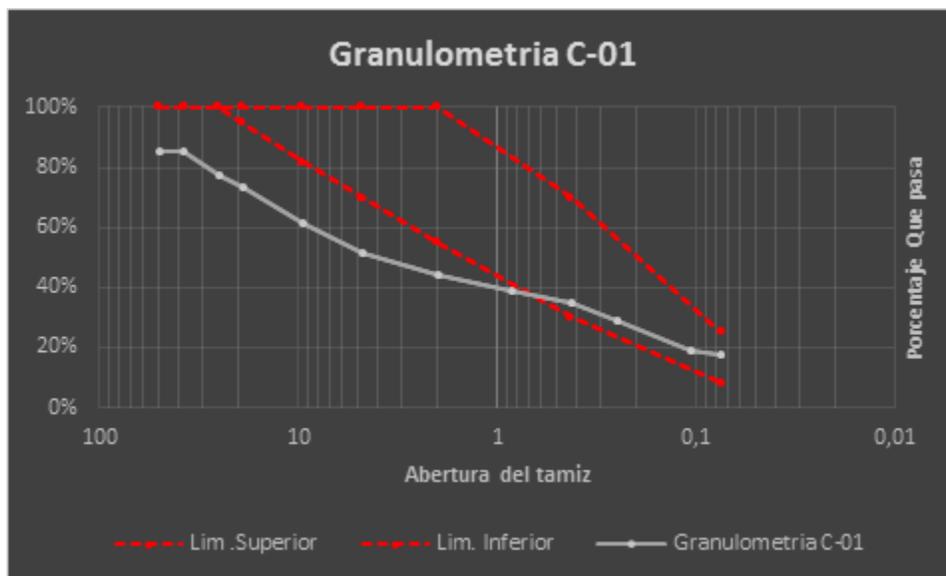
Porcentaje Pasa.

$$\text{Porcentaje Pasa} = 100 - \% \text{Retenido Acumulado}; [\%]$$

Tabla 20:

Granulometría de la Calicata 01.

Tamiz	Abertura	PESO RETENIDO (gr)	%Retenido en fracción lavada	Corrección en fracción lavada (%)	%retenido corregido en fracción lavada	%Retenido corregido	%Retenido acumulado	%Que pasa
4"	100	0	0.00%	0.000%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0	0.00%	0.000%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	243.68	17.33%	0.003%	17.33%	14.30%	14.30%	85.70%
1 1/2"	37.5	0	0.00%	0.000%	0.00%	0.00%	14.30%	85.70%
1"	25	143.12	10.18%	0.002%	10.18%	8.40%	22.70%	77.30%
3/4"	19	63.81	4.54%	0.001%	4.54%	3.75%	26.45%	73.55%
3/8"	9.5	203.85	14.50%	0.003%	14.49%	11.97%	38.42%	61.58%
N°4	4.75	171.76	12.22%	0.002%	12.21%	10.08%	48.50%	51.50%
N°10	2	129.64	9.22%	0.002%	9.22%	7.61%	56.11%	43.89%
N°20	0.85	82.97	5.90%	0.001%	5.90%	4.87%	60.98%	39.02%
N°40	0.425	72.97	5.19%	0.001%	5.19%	4.28%	65.26%	34.74%
N°60	0.25	100.67	7.16%	0.001%	7.16%	5.91%	71.17%	28.83%
N°100	0.106	170.76	12.14%	0.002%	12.14%	10.02%	81.19%	18.81%
N°200	0.075	19.8	1.41%	0.000%	1.41%	1.16%	82.36%	17.64%
cazuela	-	3.37	0.24%	0.000%	0.24%	0.20%	82.55%	17.45%
Lavado	-	297.21				17.45%	100.00%	-
Fracción Retenida en lavado		1406.4	100.02%	0.02%	100.00%	82.55%		-
Total		1703.61	ok			100.00%		

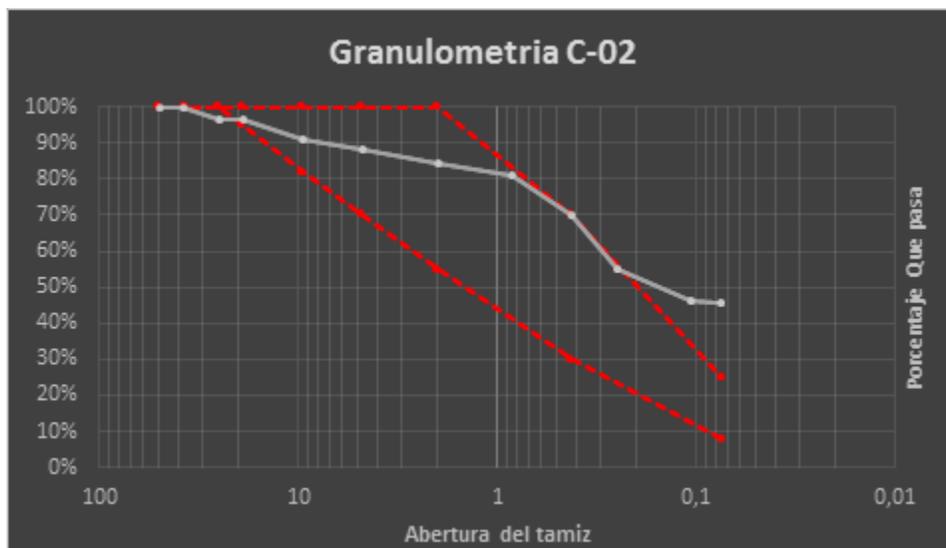


% de grava (retiene Tamiz N°4) =	48.50%
%de arena (pasa N°4 y retiene N°200) =	34.06%
%de finos (pasa Tamiz N°200) =	17.45%
	100%

Tabla 21:

Granulometría de la Calicata 02.

Tamiz	Abertura	PESO RET. (gr)	%Ret. en fracción lavada	Corrección en fracción lavada (%)	%ret. corregido en fracción lavada	%Ret. corregido	%Ret. acumulado	%Que pasa
4"	100	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	38.59	6.79%	0.00%	6.79%	3.71%	3.71%	96.29%
3/4"	19	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	3.71%	96.29%
3/8"	9.5	55.16	9.71%	0.00%	9.71%	5.30%	9.01%	90.99%
N°4	4.75	31.86	5.61%	0.00%	5.61%	3.06%	12.07%	87.93%
N°10	2	36.83	6.48%	0.00%	6.48%	3.54%	15.61%	84.39%
N°20	0.85	37.95	6.68%	0.00%	6.68%	3.65%	19.26%	80.74%
N°40	0.425	111.17	19.57%	0.01%	19.57%	10.68%	29.94%	70.06%
N°60	0.25	153.83	27.08%	0.01%	27.08%	14.78%	44.72%	55.28%
N°100	0.106	91.81	16.16%	0.01%	16.16%	8.82%	53.54%	46.46%
N°200	0.075	9.85	1.73%	0.00%	1.73%	0.95%	54.49%	45.51%
cazuela	-	0.92	0.16%	0.00%	0.16%	0.09%	54.58%	45.42%
Lavado	-	472.74			45.42%	100.00%		
Fracción Retenida en lavado		567.97	99.97%	0.03%	100.00%	54.58%		
Total		1040.71	ok			100.00%		

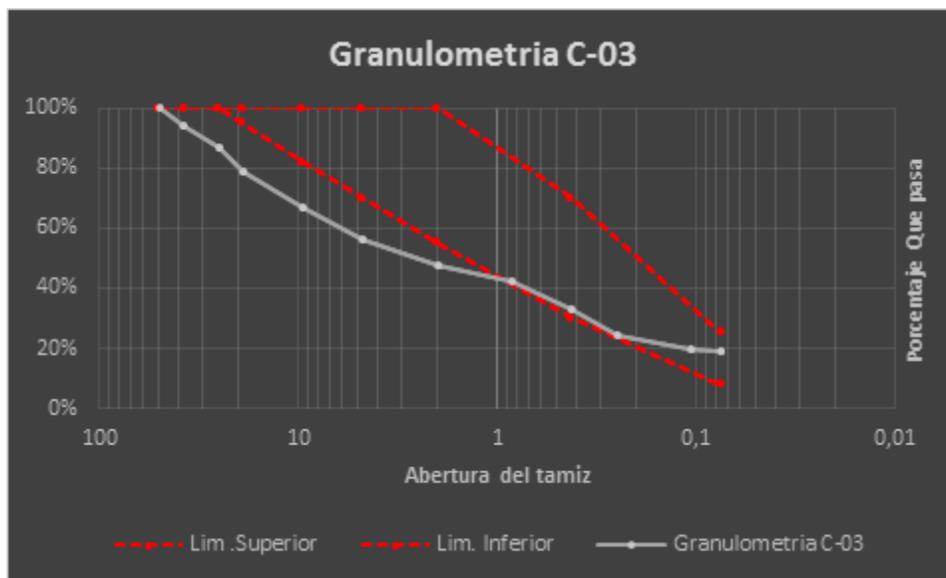


% de grava (retiene Tamiz N°4) =	12.07%
% de arena (pasa N°4 y retiene N°200) =	42.51%
% de finos (pasa Tamiz N°200) =	45.42%
	100%

Tabla 22:

Granulometría de la Calicata 03.

Tamiz	Abertura	PESO RET. (gr)	%Ret. en fracción lavada	Corrección en fracción lavada (%)	%ret. corregido en fracción lavada	%Ret. corregido	%Ret. acumulado	%Que pasa
4"	100	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	124.29	7.62%	0.01%	7.62%	6.16%	6.16%	93.84%
1"	25	147.86	9.07%	0.01%	9.06%	7.32%	13.48%	86.52%
3/4"	19	155.01	9.51%	0.01%	9.50%	7.68%	21.16%	78.84%
3/8"	9.5	240	14.72%	0.01%	14.71%	11.89%	33.05%	66.95%
N°4	4.75	214.52	13.16%	0.01%	13.15%	10.63%	43.68%	56.32%
N°10	2	174.45	10.70%	0.01%	10.69%	8.64%	52.32%	47.68%
N°20	0.85	108.1	6.63%	0.00%	6.63%	5.35%	57.67%	42.33%
N°40	0.425	193.42	11.86%	0.01%	11.85%	9.58%	67.25%	32.75%
N°60	0.25	164.88	10.11%	0.01%	10.11%	8.17%	75.42%	24.58%
N°100	0.106	99.68	6.11%	0.00%	6.11%	4.94%	80.36%	19.64%
N°200	0.075	8.6	0.53%	0.00%	0.53%	0.43%	80.79%	19.21%
cazuela	-	0.8	0.05%	0.00%	0.05%	0.04%	80.83%	19.17%
Lavado	-	387.08				19.17%	100.00%	-
Fracción Retenida en lavado		1631.61	100.07%	100.07%	0.07%	100.00%	80.83%	-
Total		2018.69	ok			100.00%		



% de grava (retiene Tamiz N°4) =	43.68%
%de arena (pasa N°4 y retiene N°200) =	37.15%
%de finos (pasa Tamiz N°200) =	19.17%
	100%

Tabla 23:

Granulometría de la Calicata 04.

Tamiz	Abertura	PESO RET. (gr)	%Ret. en fracción lavada	Corrección en fracción lavada (%)	%ret. corregido en fracción lavada	%Ret. corregido	%Ret. acumulado	%Que pasa
4"	100	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	53.71	6.04%	0.00%	6.04%	3.25%	3.25%	96.75%
3/4"	19	70.08	7.88%	0.00%	7.89%	4.24%	7.49%	92.51%
3/8"	9.5	97.74	10.99%	0.01%	11.00%	5.91%	13.40%	86.60%
N°4	4.75	88.17	9.92%	0.00%	9.92%	5.33%	18.73%	81.27%
N°10	2	87.58	9.85%	0.00%	9.86%	5.30%	24.02%	75.98%
N°20	0.85	65.7	7.39%	0.00%	7.39%	3.97%	28.00%	72.00%
N°40	0.425	60.78	6.84%	0.00%	6.84%	3.68%	31.67%	68.33%
N°60	0.25	144.66	16.27%	0.01%	16.28%	8.75%	40.42%	59.58%
N°100	0.106	199.01	22.38%	0.01%	22.40%	12.03%	52.46%	47.54%
N°200	0.075	19.51	2.19%	0.00%	2.20%	1.18%	53.64%	46.36%
cazuela	-	1.66	0.19%	0.00%	0.19%	0.10%	53.74%	46.26%
Lavado	-	765.03				46.26%	100.00%	-
Fracción Retenida en lavado		888.6	99.95%	0.05%	100.00%	53.74%		-
Total		1653.63	ok			100.00%		



TIPO DE SUELO	
AASHTO	A-1-b (arena con o sin partículas finas de granulometría bien definida)
SUCS	GM (grava limosa Arenosa)

Tabla 25:

Clasificación de Suelo de la Calicata N°2.

INFORMACION PARA LA CLASIFICACIÓN		
CALICATA		C-2
PESO INICIAL	568.16	gr
LIMITE LIQUIDO	23.65	%
PASA EL TAMIZ #200	45.50	%
Índice de plasticidad	7.83	%

TIPO DE SUELO	
AASHTO	A-4(2) (Partículas finas limosas arcillosas)
SUCS	SC (Arena Arcillosa)

Tabla 26:

Clasificación de Suelo de la Calicata N°3.

INFORMACION PARA LA CLASIFICACIÓN		
CALICATA		C-3
PESO INICIAL	1630.44	gr
LIMITE LIQUIDO	NP	%
PASA EL TAMIZ #200	19.17	%
Índice de plasticidad	NP	%

TIPO DE SUELO	
AASHTO	A-1-b (Arena con o sin partículas finas de granulometrías bien definidas)
SUCS	GM (Grava limosa Arenosa)



Tabla 27:

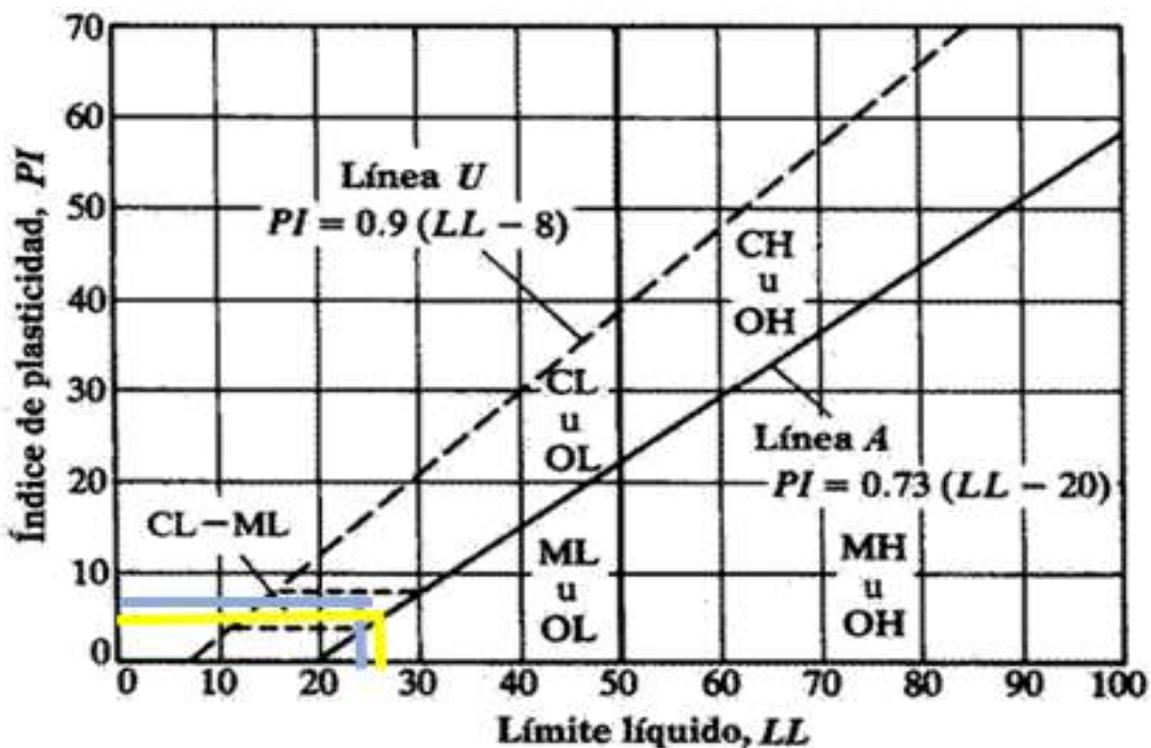
Clasificación de Suelo de la Calicata N°4.

INFORMACION PARA LA CLASIFICACIÓN		
CALICATA	C-4	
PESO INICIAL	889.04	gr
LIMITE LIQUIDO	24.93	%
PASA EL TAMIZ #200	46.26	%
Índice de plasticidad	5.72	%

TIPO DE SUELO	
AASHTO	A-4(2) (partículas finas limosas arcillosas)
SUCS	SC-SM (Arena Limosa Arcillosa con Grava)

Figura 25:

Ubicación de los Suelos en la Carta de Plasticidad de Casagrande.



De acuerdo a la carta de plasticidad	—	Calicata N°2
de casa grande	—	Calicata N°4



Tabla 28:

Ubicación de los Suelos para a Clasificación según SUCS.

Criterios para la asignación de grupo y nombres de grupo con uso de pruebas de laboratorio				Clasificación de suelos		
				Símbolo	Nombre de grupo	
Suelos de partículas gruesas Mas de 50% retenido en la malla N°200	Gravas Mas del 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz N°4.	Gravas Limpias Menos de 5% de finos	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$ $Cu < 4$ y/o $1 \leq Cc \leq 3$	GW GP	Grava bien graduada Grava mal graduada	
		Gravas con finos mas del 12% de finos		GM GC	Grava limosa Grava arcillosa	
	Arenas El 50% de la fracción gruesa pasa el tamiz N°4.	Arenas Limpias Menos del 5% de finos	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$ $Cu < 6$ y/o $1 \leq Cc \leq 3$	SW SP	Arena bien graduada Arena mal graduada	
		Arenas con finos Mas del 12% de finos		SM SC	Arena Limosa Arena Arcillosa	
	Suelos de partículas finas El 50% o mas pasa la malla N°200.	Limos y Arcillas Limite Liquido menor que 50.	Inorgánicos	$IP > 7$ se grafica en o arriba de la línea "A" $IP < 4$ y se grafica en o arriba de la línea "A"	CL ML	Arcilla de baja plasticidad (ligera) Limo
			Orgánicos	<i>Limite liquido secado en horno</i> <i>Limite liquido no secado</i> < 0.75	OL	Arcilla Orgánica
Limos y Arcillas Limite Liquido 50 o más.		Inorgánicos	IP se grafica en o arriba de la línea "A" IP se grafica debajo de la línea "A"	CH MH	Limo orgánico Arcilla Orgánica	
		Orgánicos	<i>Limite liquido secado en horno</i> <i>Limite liquido no secado</i> < 0.75	OH	Limo orgánico	
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia inorgánica de color oscuro y con olor orgánico		PT	Turba		

Según SUCS		Calicata 01	GM	Grava limosa Arenosa
		Calicata 02	SC	Arena Arcillosa
		Calicata 03	GM	Grava Limosa Arenosa
		Calicata 04	SC-SM	Arena Limosa Arcillosa con Grava



Tabla 29:

Ubicación de los Suelos para la Clasificación según AASTHO.

Clasificación general	Suelos granulares 35% máximo que pasa por tamiz de 0.075 mm (N.º 200)							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.075 mm (N.º 200)							
Clasificación por grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7				
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7								
Análisis granulométrico % que pasa por el tamiz:															
2mm (Nº10)	Max 50														
0.425mm (Nº40)	Max 30	Max 50	Min 51												
F: 0.075 mm (Nº200)	Max 15	Max 25	Max 10	Max 35	Max 35	Max 35	Max 35	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36			
Característica de la fracción que pasa por el tamiz (N.º 40)															
LL: Limite liquido				Max 40	Min 41	Max 40	Max 40	Max 40	Min 41	Max 40	Min 40	Min 41			
IP: Índice de plasticidad	Max 6	Max 6	N.P.	Max 10	Max 10	Min 11	Min 10	Max 10	Max 10	Min 11	Min 11	Min 11			
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas		Arenas finas		Gravas y arenas limos o arcillas							Suelos Limosos		Suelos arcillosos	
Estimación general del suelo como subrasante	Excelente a bueno									Regular e insuficiente					

			Clasificación General	Tipo de Material Mas común	Clasificación de la subrasante
Según AASHTO		Calicata 01	A-1-b	Arena fina	Buena a Excelente
		Calicata 02	A-4(2)	Suelo Limoso arcilloso	Pobre a regular
		Calicata 03	A-1-b	Arena fina	Buena a Excelente
		Calicata 04	A-4(2)	Suelo Limoso arcilloso	Pobre a regular



3.6.2.2. Análisis de la prueba

La muestra de la primera calicata, según la clasificación AASHTO, está en la categoría A-1-b, suelo arenoso fino (bueno a excelente) y conforme a SUCS es una grava limos Arenosa, en la muestra de la segunda calicata según la clasificación AASHTO está en la categoría A-4(2), suelo Limoso Arcilloso (pobre a regular) y conforme a SUCS es una arena arcillosa. La tercera muestra, según la clasificación AASHTO está en la categoría A-1-b, suelo arenoso fino (bueno a excelente) y conforme SUCS es una grava limosa arenosa, la última muestra según la clasificación AASHTO está en la categoría A-4(2), suelo Limoso Arcilloso (pobre a regular) y conforme SUCS es una arena arcillosa.

3.6.3. Contenido de Humedad

3.6.3.1. Procesamiento y Cálculos

Se halló el porcentaje de humedad con la expresión:

Formula 4:

Contenido de Humedad.

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso del suelo seco}} \times 100 ; [\%]$$

a) Calicata N°1

Tabla 30:

Contenido de Humedad de la Calicata 01.

1	Peso del suelo húmedo + Peso de la tara (gr)	104.91 gr
2	Peso del suelo seco + Peso de la tara (gr)	99.55 gr
3	Peso del agua retenida (gr)	5.36 gr
4	Peso de la tara (gr)	19.16 gr
5	Peso del suelo seco (gr)	80.39 gr
6	Contenido de humedad (%)	6.67%

Calicata 01	Contenido de humedad %	6.67%
-------------	------------------------	-------



c) Calicata N°2

Tabla 31:

Contenido de Humedad de la Calicata 02.

1	Peso del suelo húmedo +Peso de la tara (gr)	87.35 gr
2	Peso del suelo seco + Peso de la tara (gr)	82.26 gr
3	P. del agua retenida (gr)	5.09 gr
4	P. de la tara (gr)	15.6 gr
5	P. del suelo seco (gr)	66.66 gr
6	Porcentaje de humedad (%)	7.64%

Calicata 01	Contenido de humedad %	7.64%
-------------	------------------------	-------

d) Calicata N°3

Tabla 32:

Contenido de Humedad de la Calicata 03.

1	Peso del suelo húmedo +Peso de la tara (gr)	110.61 gr
2	Peso del suelo seco + Peso de la tara (gr)	103.71 gr
3	Peso del agua retenida (gr)	6.9 gr
4	Peso de la tara (gr)	19.17 gr
5	Peso del suelo seco (gr)	84.54 gr
6	Contenido de humedad (%)	8.16%

Calicata 01	Contenido de humedad %	8.16%
-------------	------------------------	-------

e) Calicata N°4

Tabla 33:

Contenido de Humedad de la Calicata 04.

1	Peso del suelo húmedo +Peso de la tara (gr)	104.83 gr
2	Peso del suelo seco + Peso de la tara (gr)	98 gr
3	P. del agua retenida (gr)	6.83 gr
4	P. de la tara (gr)	19.12 gr
5	P. del suelo seco (gr)	78.88 gr
6	Porcentaje de humedad (%)	8.66%

Calicata 01	Contenido de humedad %	8.66%
-------------	------------------------	-------



3.6.3.2. Análisis de la Prueba

Con este ensayo podemos observar calicata 01 tiene un contenido de humedad de 6.67%, mientras la calicata 02 tiene 7.64% de contenido de humedad. La calicata 03 tiene un contenido de humedad de 8.16% y la última calicata, la calicata 04 presenta un contenido de humedad de 8.66%.

Calicata	Contenido de humedad
Calicata 01	6.67%
Calicata 02	7.64%
Calicata 03	8.16%
Calicata 04	8.66%

3.6.4. Limite Liquido

3.6.4.1. Procesamiento y Cálculos

Se calculo el Limite Liquido con la siguiente expresión:

Formula 5:

Limite Liquido.

$$\text{Limite liquido} = W^n \left[\frac{N}{25} \right]^{0.121} ; [\%]$$

Donde:

N= Número de golpes

Wn=Contenido de humedad del suelo



a) Calicata N° 1

Tabla 34:

Limites Liquido de la Calicata 01.

LIMITE LIQUIDO - C1						
Número de golpes	(T)+Total de peso húmedo	(T)+Total peso seco	Peso Agua	Tara (T)	Muestra Peso Seco	Humedad (%)
NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP

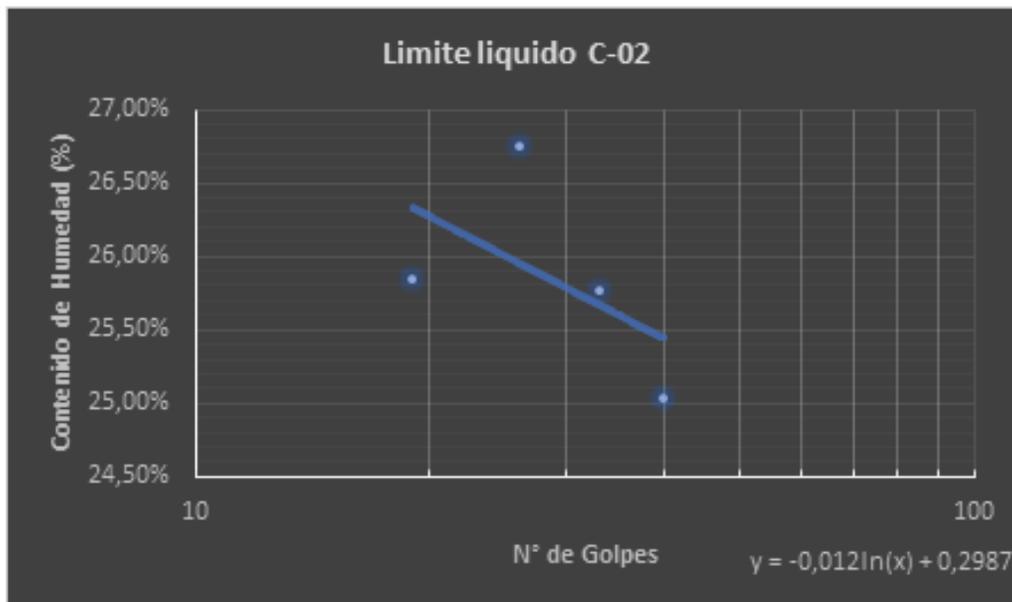
Nota: La calicata N°1 no presenta Limite liquido

b) Calicata N° 2 – Suelo más desfavorable

Tabla 35:

Limite Liquido de la Calicata 02 - Suelo más Desfavorable.

LIMITE LIQUIDO - C2						
Número de golpes	(T)+Total de peso húmedo	(T)+Total peso seco	Peso Agua	Tara (T)	Muestra Peso Seco	Humedad (%)
40	38.61	32.48	6.13	7.99	24.49	25.03%
33	34.42	29.23	5.19	9.09	20.14	25.77%
26	42.07	34.96	7.11	8.39	26.57	26.76%
19	38.15	31.96	6.19	8.01	23.95	25.85%



Por ecuación del Grafico -25 golpes (LL) = 26.01%



c) Calicata N°03

Tabla 36:

Limite Liquido de la Calicata 03.

LIMITE LIQUIDO – C3						
Número de golpes	(T)+Total de peso húmedo	(T)+Total p. seco	P. Agua	Tara (T)	Muestra P. Seco	Humedad (%)
NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP

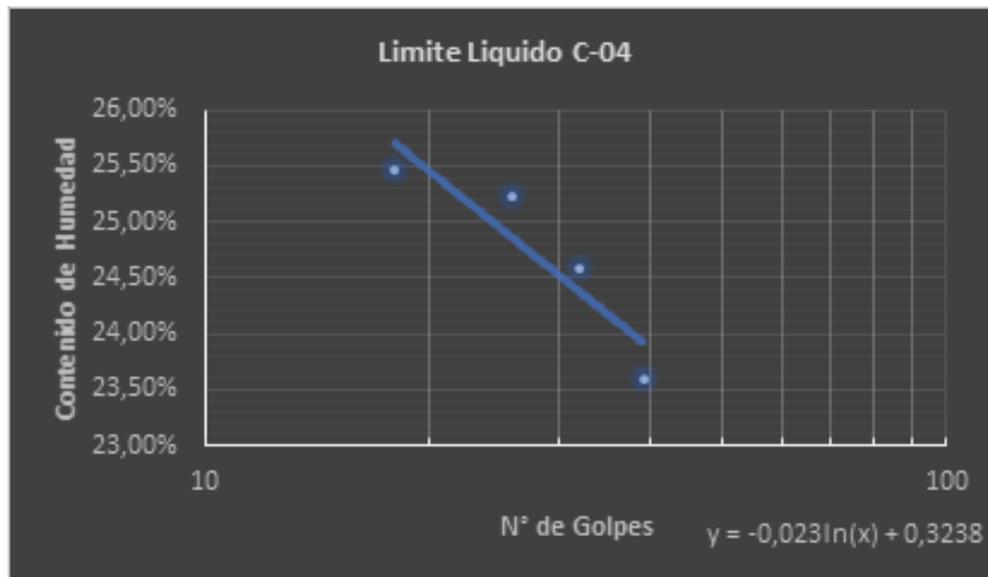
Nota: el suelo de la calicata N°3 no presenta Limite liquido

d) Calicata N°04

Tabla 37:

Limite Liquido de la Calicata 04.

LIMITE LIQUIDO C-4						
Número de golpes	(T)+Total de p. húmedo	(T)+Total p. seco	P. Agua	Tara (T)	Muestra P. Seco	Humedad (%)
39	39.95	33.89	6.06	8.21	25.68	23.60%
32	38.48	32.51	5.97	8.22	24.29	24.58%
26	36.77	30.94	5.83	7.83	23.11	25.23%
18	36.34	30.55	5.79	7.81	22.74	25.46%



Por ecuación del Grafico -25 golpes (LL) = 24.98%

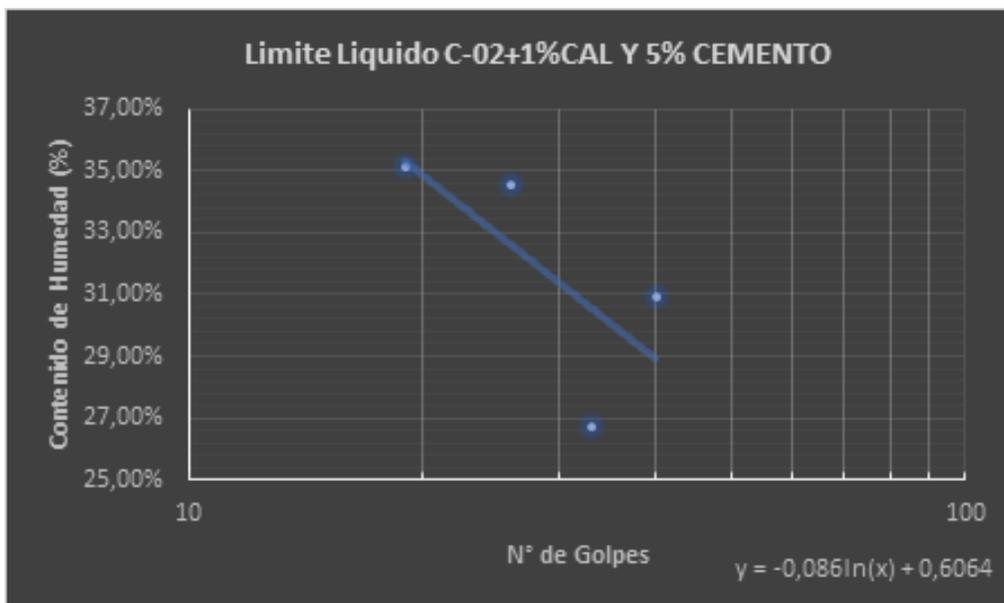


e) Calicata N°02 -Suelo más desfavorable más 1% cal y 5% cemento.

Tabla 38:

Limite Liquido de la Calicata 02- Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.

LIMITE LIQUIDO (C2 +1%CAL +5 % CEMENTO)						
Número de golpes	(T)+Total de p. húmedo	(T)+Total peso seco	P. Agua	Tara (T)	Muestra P. Seco	Humedad (%)
40	40.4	32.98	7.42	8.99	23.99	30.93%
33	37.5	32.02	5.48	11.5	20.52	26.71%
26	39.95	31.77	8.18	8.11	23.66	34.57%
19	40.4	32.21	8.19	8.92	23.29	35.17%



Por ecuación del Grafico -25 golpes (LL) =	32.96%
--	--------

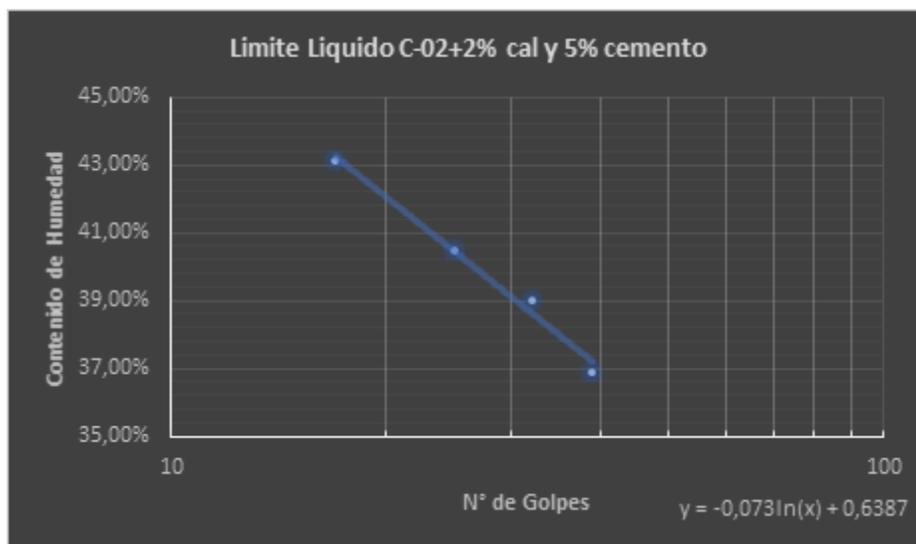


f) Calicata N°02 -Suelo más desfavorable más 2% cal y 5% cemento

Tabla 39:

Limite Liquido de Calicata 02-Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.

LIMITE LIQUIDO (C2 +2%CAL +5 % CEMENTO)						
Número de golpes	(T)+Total de p. húmedo	(T)+Total p. seco	P. Agua	Tara (T)	Muestra P. Seco	Humedad (%)
39	35.77	28.38	7.39	8.36	20.02	36.91%
32	33.58	26.36	7.22	7.86	18.5	39.03%
25	36.1	28.21	7.89	8.72	19.49	40.48%
17	30.37	23.19	7.18	6.55	16.64	43.15%



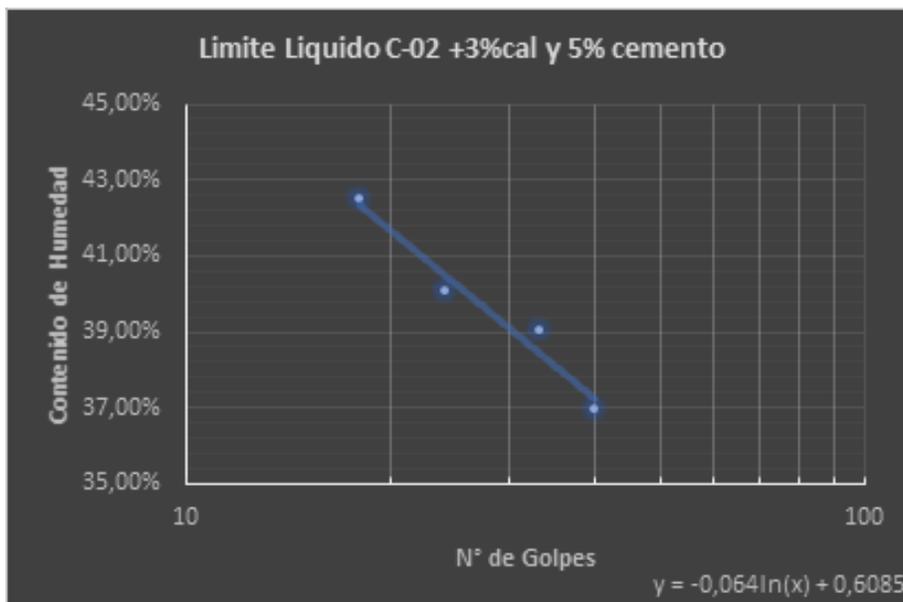
Por ecuación del Grafico -25 golpes (LL) = 40.37%

g) Calicata N°02 -Suelo más desfavorable más 3% cal y 5% cemento

Tabla 40:

Limite Liquido de Calicata 02 -Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.

LIMITE LIQUIDO (C2 +3%CAL +5 % CEMENTO)						
Número de golpes	(T)+Total de p. húmedo	(T)+Total p. seco	P. Agua	Tara (T)	Muestra P. Seco	Humedad (%)
40	37.68	29.21	8.47	6.3	22.91	36.97%
33	39.15	31.41	7.74	11.59	19.82	39.05%
24	38.59	30.2	8.39	9.27	20.93	40.09%
18	36.68	28.13	8.55	8.01	20.12	42.50%



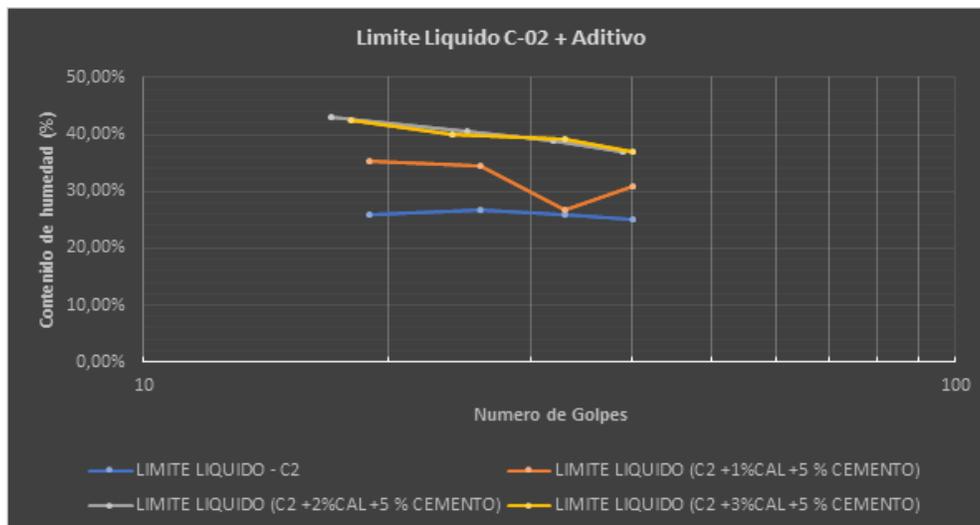
Por ecuación del Grafico -25 golpes (LL) = 40.25%

- h) Calicata N°2 -Suelo más desfavorable, más 1% cal y 5% cemento, 2% cal y 5% cemento, 3% cal y 5% cemento.

Tabla 41:

Contraste de Análisis de Datos de Calicata 02- Suelo más Desfavorable más Aditivos.

Calicata 2 (Suelo más desfavorable)		Calicata 2 (Suelo +1% cal +5%cemento)	
Número de Golpes	% de humedad	Número de Golpes	% de Humedad
40	25.03%	40	30.93%
33	25.77%	33	26.71%
26	26.76%	26	34.57%
19	25.85%	19	35.17%
Calicata 2 (Suelo +2% cal +5% cemento)		Calicata 2 (Suelo +3%cal +5% cemento)	
Número de Golpes	% de humedad	Número de Golpes	% de humedad
39	36.91%	40	36.97%
32	39.03%	33	39.05%
25	40.48%	24	40.09%
17	43.15%	18	42.50%

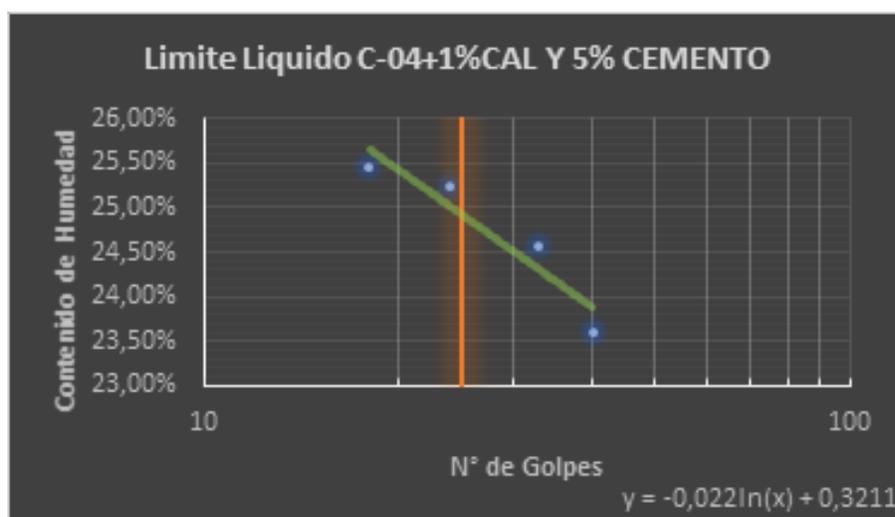


i) Calicata N°4 -Suelo más 1% cal y 5% cemento

Tabla 42:

Limite Liquido de Calicata 04 -Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.

LIMITE LIQUIDO (C4 +1%CAL +5 % CEMENTO)						
Número de golpes	(T)+Total de p. húmedo	(T)+Total peso seco	P. Agua	Tara (T)	Muestra Peso Seco	Humedad (%)
40	39.95	33.89	6.06	8.21	25.68	23.60%
33	38.48	32.51	5.97	8.22	24.29	24.58%
24	36.77	30.94	5.83	7.83	23.11	25.23%
18	36.34	30.55	5.79	7.81	22.74	25.46%



Por ecuación del Grafico -25 golpes (LL) = 31.8%

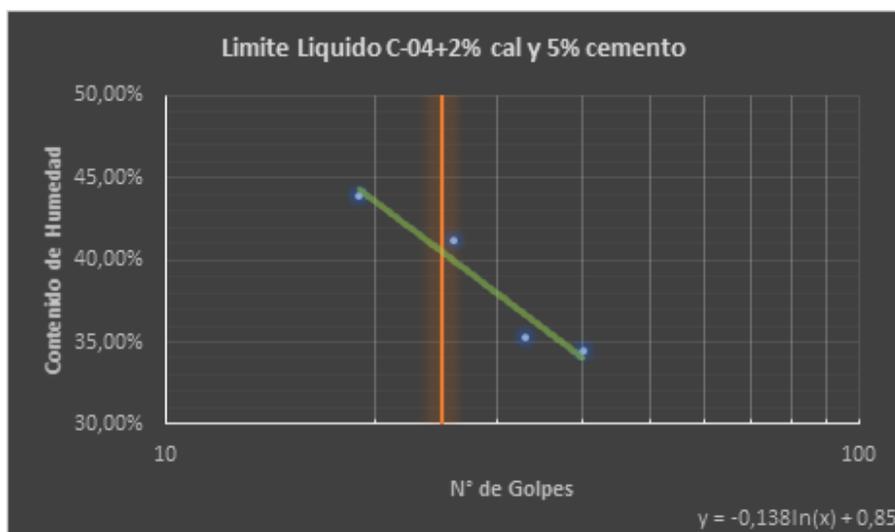


j) Calicata N°04 -Suelo más 2% cal y 5% cemento

Tabla 43:

Limite Liquido de Calicata 02-Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.

LIMITE LIQUIDO (C4 +2%CAL +5 % CEMENTO)						
Número de golpes	(T)+Total de p. húmedo	(T)+Total peso seco	P. Agua	Tara (T)	Muestra P. Seco	Humedad (%)
40	37.11	29.79	7.32	8.58	21.21	34.51%
33	37.64	29.64	8	6.99	22.65	35.32%
26	30.8	24.19	6.61	8.16	16.03	41.24%
19	28.56	21.78	6.78	6.35	15.43	43.94%



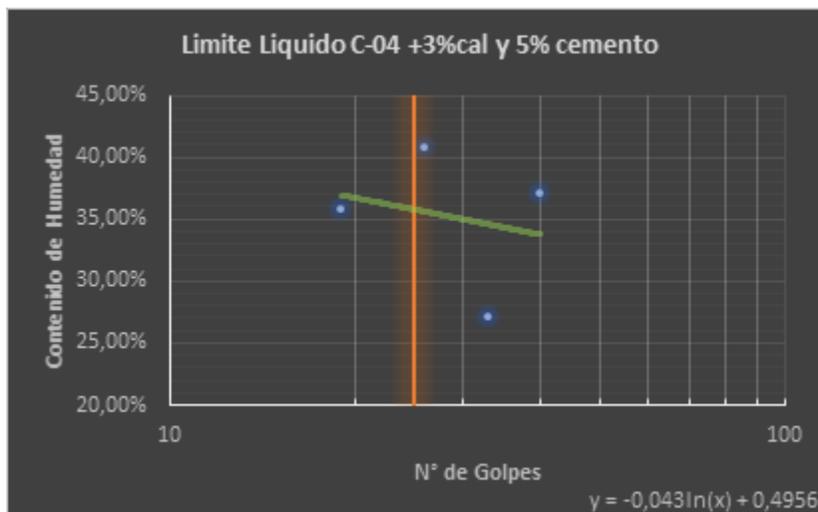
Por ecuación del Grafico -25 golpes (LL) = 40.58%

k) Calicata N°04 -Suelo más 3% cal y 5% cemento

Tabla 44:

Limite Liquido de Calicata 04 -Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.

LIMITE LIQUIDO (C4 +3%CAL +5 % CEMENTO)						
Número de golpes	(T)+Total de peso húmedo	(T)+Total p. seco	P. Agua	Tara (T)	Muestra P. Seco	Humedad (%)
40	39.02	30.62	8.4	7.95	22.67	37.05%
33	43.21	34.69	8.52	3.35	31.34	27.19%
26	33.29	26.18	7.11	8.77	17.41	40.84%
19	34.87	26.72	8.15	3.98	22.74	35.84%



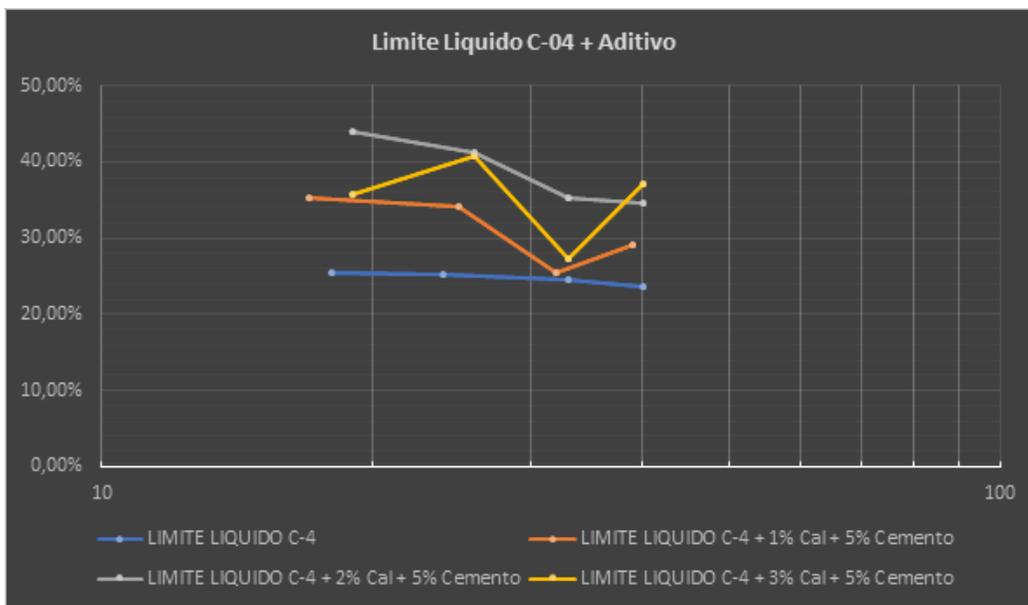
Por ecuación del Grafico -25 golpes (LL) =	35.72%
--	--------

- 1) Calicata N°4 -Suelo más desfavorable, más 1% cal y 5% cemento, 2% cal y 5% cemento, 3% cal y 5% cemento.

Tabla 45:

Contraste de Análisis de Datos de Calicata 04- Suelo más Aditivos.

Calicata 4 (Suelo natural)		Calicata 4 (Suelo +1% cal +5% cemento)	
Número de Golpes	% de humedad	Número de Golpes	% de Humedad
40	23.60%	39	29.19%
33	24.58%	32	25.37%
24	25.23%	25	34.16%
18	25.46%	17	35.28%
Calicata 4 (Suelo +2% cal +5% cemento)		Calicata 4 (Suelo +3% cal +5% cemento)	
Número de Golpes	% de humedad	Número de Golpes	% de humedad
40	34.51%	40	37.05%
33	35.32%	33	27.19%
26	41.24%	26	40.84%
19	43.94%	19	35.84%



3.6.4.2. Análisis de la Prueba

Gracias a la prueba de Límite líquido observamos que la calicata 01 no presenta límite líquido, la calicata 02 tiene un Límite líquido 26,01%. La calicata 03 no presenta límite Líquido y la calicata 04 tiene 24.98% de Límite líquido.

Tabla 46:

Análisis de Datos de Limite Liquido.

Calicata	Limite Liquido (LL)=
Muestra 01	NP
Muestra 02	26.01%
Muestra 03	NP
Muestra 04	24.98%

Como se puede ver en los resultados de anteriores el suelo de la calicata 02 y la calicata 04 al adicionarle la cal 1%, 2%, 3% y cemento 5% aumenta en su Límite Líquido.



Tabla 47:

Análisis de Datos de Limite Plástico.

	Calicata N02	Calicata N04
	Limite Liquido (LL)	Limite Liquido (LL)
Suelo solo	26.01%	24.98%
Suelo + 1%cal + 5% cemento	32.96%	31.80%
Suelo solo +2% cal +5% cemento	40.37%	40.58%
Suelo +3% cal +5% cemento	40.25%	35.72%

3.6.5. Limite Plástico

3.6.5.1. Procesamiento y cálculos

Se halló el Límite Plástico con la siguiente expresión:

Formula 6:

Límite Plástico.

$$\text{Límite plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100 ; [\%]$$

a) Calicata N°1

Tabla 48:

Límite Plástico de la Calicata 01.

LIMITE PLASTICO C-1						
(T)+Total de peso húmedo	(T)+Total peso seco	Peso Agua	Tara (T)	Muestra Peso Seco	Humedad (%)	LIMITE PLASTICO (%)
NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP

Nota: La calicata N°1 no presenta Limite plástico



b) Calicata N°2 – Suelo más desfavorable

Tabla 49:

Límite Plástico de la Calicata 02-Suelo más Desfavorable.

LIMITE PLASTICO C-2						
(T)+Total de peso húmedo	(T)+Total peso seco	Peso Agua	Tara (T)	Muestra Peso Seco	Humedad (%)	LIMITE PLASTICO (%)
17.15	15.77	1.38	8.23	7.54	18.30%	18.82%
17.75	16.37	1.38	9.22	7.15	19.30%	
17.51	16.01	1.5	7.83	8.18	18.34%	
17.2	15.77	1.43	8.38	7.39	19.35%	

Limite Liquido (LL)= 25.03%

Limite Plástico (LP)= 18.82%

Índice de Plasticidad (IP)= 7.18%

c) Calicata N°3

Tabla 50:

Limite Plástico de la Calicata 03.

LIMITE PLASTICO C-3						
(T)+Total de p. húmedo	(T)+Total p. seco	P. Agua	Tara (T)	Muestra Peso Seco	Humedad (%)	LIMITE PLASTICO (%)
NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP

Nota: La calicata N°3 no presentan Limite Plástico.

d) Calicata N°4

Tabla 51:

Límite Plástico de la Calicata 04.

LIMITE PLASTICO C-4						
(T)+Total de peso húmedo	(T)+Total peso seco	Peso Agua	Tara (T)	Muestra Peso Seco	Humedad (%)	LIMITE PLASTICO (%)
14.75	13.72	1.03	8.36	5.36	19.22%	19.21%
14.42	13.45	0.97	8.39	5.06	19.17%	
12.1	11.2	0.9	6.46	4.74	18.99%	
12.68	11.64	1.04	6.3	5.34	19.48%	



Límite Líquido (LL)= 24.98%

Límite Plástico (LP)= 19.21%

Índice de Plasticidad (IP)= 5.76%

e) Calicata N°2 – Suelo más desfavorable más 1% cal y 5% cemento.

Tabla 52:

Límite Plástico de la Calicata 02- Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.

LIMITE PLASTICO (C2 +1%CAL +5 % CEMENTO)						
(T)+Total de p. húmedo	(T)+Total p. seco	P. Agua	Tara (T)	Muestra P. Seco	Humedad (%)	LIMITE PLASTICO (%)
18.27	16.43	1.84	7.87	8.56	21.50%	23.16%
17.12	15.18	1.94	6.48	8.7	22.30%	
17.51	15.69	1.82	8.11	7.58	24.01%	
20.69	18.21	2.48	8.23	9.98	24.85%	

Límite Líquido (LL)= 32.96%

Límite Plástico (LP)= 23.16%

Índice de Plasticidad (IP)= 9.79%

f) Calicata N°2 – Suelo más desfavorable más 2% cal y 5% cemento.

Tabla 53:

Límite Plástico de la Calicata 02-Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.

LIMITE PLASTICO (C2 +2%CAL +5 % CEMENTO)						
(T)+Total de p. húmedo	(T)+Total peso seco	P. Agua	Tara (T)	Muestra Peso Seco	Humedad (%)	LIMITE PLASTICO (%)
15.95	14.14	1.81	7.81	6.33	28.59%	28.84%
14.12	12.36	1.76	6.45	5.91	29.78%	
17.13	15.15	1.98	7.91	7.24	27.35%	
17.36	15.51	1.85	9.27	6.24	29.65%	

Límite Líquido (LL)= 40.37%

Límite Plástico (LP)= 28.84%

Índice de Plasticidad (IP)= 11.53%



g) Calicata N°2 -Suelo más desfavorable más 3% cal y 5% cemento.

Tabla 54:

Límite Plástico de la Calicata 02-Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.

LIMITE PLASTICO (C2 +3%CAL +5 % CEMENTO)						
Total de peso húmedo + (T)	Total p. seco + (T)	P. Agua	Tara (T)	Muestra P. Seco	Contenido de agua	LIMITE PLASTICO (%)
12.62	11.52	1.1	6.00	5.52	19.93%	
16.51	14.95	1.56	8.12	6.83	22.84%	
19.58	17.64	1.94	9.45	8.19	23.69%	23.42%
15.37	13.46	1.91	6.44	7.02	27.21%	

Límite Líquido (LL)= 40.25%

Límite Plástico (LP)= 23.42%

Índice de Plasticidad (IP)= 16.83%

h) Calicata N°2 -Suelo más desfavorable, más 1% cal y 5% cemento, 2% cal y 5% cemento, 3% cal y 5% cemento.

Tabla 55:

Contraste de Análisis de Datos de la Calicata 02 -Suelo más Desfavorable más Aditivos.

Calicata N°02	Suelo natural	Suelo +1%cal +5% cemento	Suelo +2%cal +5% cemento	Suelo +3%cal +5% cemento
Limite Plástico (LP)	18.82%	23.16%	28.84%	23.4%



i) Calicata N°4 – Suelo más 1% cal y 5% cemento.

Tabla 56:

Límite Plástico de la Calicata 04- Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.

LIMITE PLASTICO (C4 +1%CAL +5 % CEMENTO)						
(T)+Total de p. húmedo	(T)+Total p. seco	P. Agua	Tara (T)	Muestra P. Seco	Humedad (%)	LIMITE PLASTICO (%)
18.79	16.95	1.84	6.41	9.08	20.26%	21.85%
17.64	15.7	1.94	8.62	9.22	21.04%	
18.03	16.21	1.82	9.32	8.1	22.47%	
21.21	18.73	2.48	6.14	10.5	23.62%	

Límite Líquido (LL)= 31.8%

Límite Plástico (LP)= 21.85%

Índice de Plasticidad (IP)= 9.95%

j) Calicata N°4 – Suelo más desfavorable más 2% cal y 5% cemento.

Tabla 57:

Límite Plástico de la Calicata 04-Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.

LIMITE PLASTICO (C4 +2%CAL +5 % CEMENTO)						
(T)+Total de p. húmedo	(T)+Total p. seco	P. Agua	Tara (T)	Muestra P. Seco	Humedad (%)	LIMITE PLASTICO (%)
16.47	14.66	1.81	7.41	6.85	26.42%	26.67%
14.64	12.88	1.76	6.25	6.43	27.37%	
17.65	15.67	1.98	7.88	7.76	25.52%	
17.88	16.03	1.85	9.72	6.76	27.37%	

Límite Líquido (LL)= 40.58%

Límite Plástico (LP)= 26.67%

Índice de Plasticidad (IP)= 13.91%



k) Calicata N°4 -Suelo más desfavorable más 3% cal y 5% cemento.

Tabla 58:

Límite Plástico de la Calicata 04-Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.

LÍMITE PLASTICO (C4 +3%CAL +5 % CEMENTO)						
Total de p. húmedo + (T)	Total p. seco + (T)	P. Agua	Tara (T)	Muestra P. Seco	Contenido de agua	LÍMITE PLASTICO (%)
13.34	12.24	1.1	8.57	6.24	17.63%	21.19%
17.23	15.67	1.56	7.48	7.55	20.66%	
20.3	18.36	1.94	8.11	8.91	21.77%	
16.09	14.18	1.91	8.23	7.74	24.68%	

Límite Líquido (LL)= 35.72%

Límite Plástico (LP)= 21.19%

Índice de Plasticidad (IP)= 14.53%

l) Calicata N°4 -Suelo más desfavorable, más 1% cal y 5% cemento, 2% cal y 5% cemento, 3% cal y 5% cemento.

Tabla 59:

Contraste de Análisis de Datos de la Calicata 04 -Suelo más Aditivos.

Calicata N°04	Suelo natural	Suelo +1% cal +5% cemento	Suelo +2% cal +5% cemento	Suelo +3% cal +5% cemento
Límite Plástico (LP)	19.21%	21.85%	26.67%	21.19%

3.6.5.2. Análisis de la Prueba

Según a los resultados, se observa que la calicata 01 y calicata 03 no presentan límite de plasticidad. Mientras que la calicata 02 tiene un Límite plástico de 18.32% y la calicata 04 tiene un límite plástico de 19.21%.

También se puede observar que la calicata 02 que es la más desfavorable al adicionarle la cal y cemento, aumenta ligeramente su índice de plasticidad.



3.6.6. Índice de Plasticidad

3.6.6.1. Procesamiento y Cálculos

Para la evaluación de este ensayo se aplicó de la esta fórmula:

Formula 7:

Índice de Plasticidad.

Índice de Plasticidad=Limite Liquido – Limite Plástico; [%]

- a) Calicata N°2 – Suelo más desfavorable, más 1% cal y 5% cemento, 2% cal y 5% cemento, 3% cal y 5% cemento.

Tabla 60:

Contraste de Resultados de Índice de Plasticidad de la Calicata 02-Suelo más Desfavorable más Aditivo.

Calicata 02	Suelo solo	Suelo + 1% cal +5% cemento	Suelo +2% cal +5% cemento	Suelo + 3% cal +5% cemento
Limite Liquido (LL)=	25.03%	32.96%	40.37%	40.25%
Limite Plástico (LP)=	18.82%	23.16%	28.84%	23.42%
Índice de Plasticidad (IP)=	7.18%	9.79%	11.53%	16.83%

- b) Calicata N°4

Tabla 61:

Resultado de Índice de Plasticidad de la Calicata N°4.

Calicata 04	Suelo solo	Suelo + 1% cal +5% cemento	Suelo +2% cal +5% cemento	Suelo + 3% cal +5% cemento
Limite Liquido (LL)=	24.98%	31.8%	40.58%	35.72%
Limite Plástico (LP)=	19.21%	21.85%	26.67%	21.19%
Índice de Plasticidad (IP)=	5.76%	9.95%	13.91%	14.53%



3.6.6.2. Análisis de la Prueba

Se observa con los resultados de arriba que el suelo más desfavorable que es la Calicata 2 al adicionarle 1% ,2%,3% cal y 5% cemento aumenta ligeramente el Índice de plasticidad de la muestra natural de 7.18% a 16.87%. De igual manera, la calicata 4 al adicionarle cal y cemento incrementa su índice de plasticidad de un 5.76% a 14.53%.

3.6.7. Proctor Modificado

3.6.7.1. Procesamiento y Cálculos

Se calculo el Limite Liquido con la siguiente expresión:

Formula 8:

Densidad Húmeda del Espécimen Compactado (ρ_m)

$$\text{Densidad húmeda del espécimen compactado } (\rho_m) = \frac{(M_t - M_{md})}{100 * V} ; [Mg/m^3]$$

Donde:

- M_t =Masa del espécimen húmedo y molde (kg)
- M_{md} =Masa del molde de compactación (kg)
- V =Volumen del molde de compactación (m³)
- Formula 7: Densidad seca del espécimen compactado (ρ_d)
- Densidad seca del espécimen compactado

$$(\rho_d) = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}} ; [Mg/m^3]$$

Donde:

- W =Contenido de humedad (%)



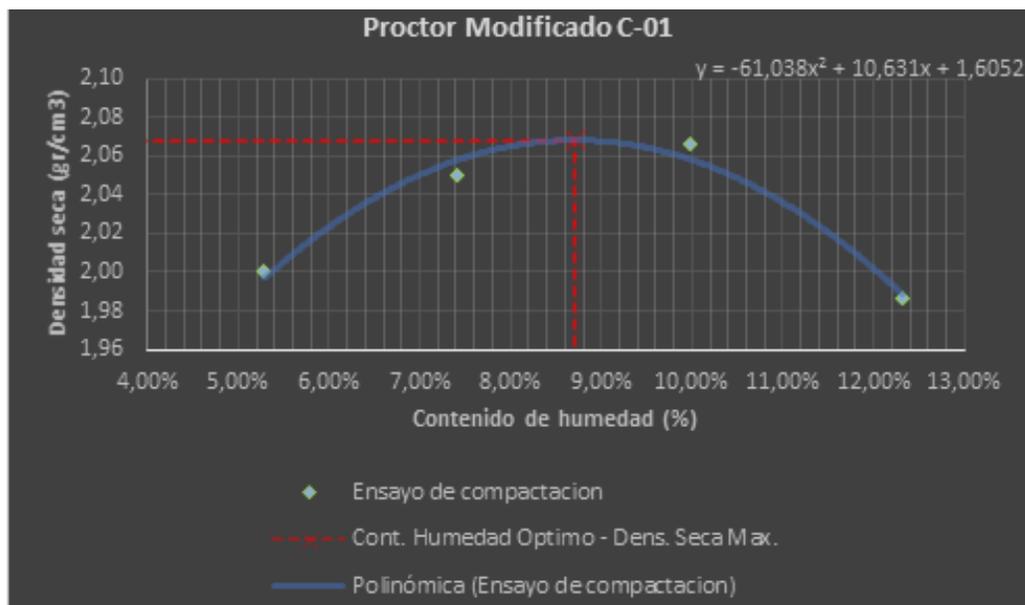
Calicata N°1

a) Calicata N°1 – suelo natural

Tabla 62:

Proctor Modificado de la Calicata 01.

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD – C1				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum	54.02	55.97	54.98	59.12
(C) +Muestra seca	52.14	53.19	51.5	54.44
Peso del Agua	1.88	2.78	3.48	4.68
Capsula (C)	16.61	15.74	16.6	16.43
Peso muestra seca	35.53	37.45	34.9	38.01
Porcentaje de Humedad (W)	5.29%	7.42%	9.97%	12.31%
DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:			2155.92
	Peso del molde			5801
Porcentaje de Humedad (Wm)	0.05	0.07	0.10	0.12
Molde + Peso de Muestra	10341	10548	10700	10610
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)	4540	4747	4899	4809
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.11	2.20	2.27	2.23
Densidad seca (yseca) (gr/cm3)	2.00	2.05	2.07	1.99



Porcentaje de Humedad Optimo (%) 8.71%

Máxima Densidad Seca (gr/cm3) 2.07

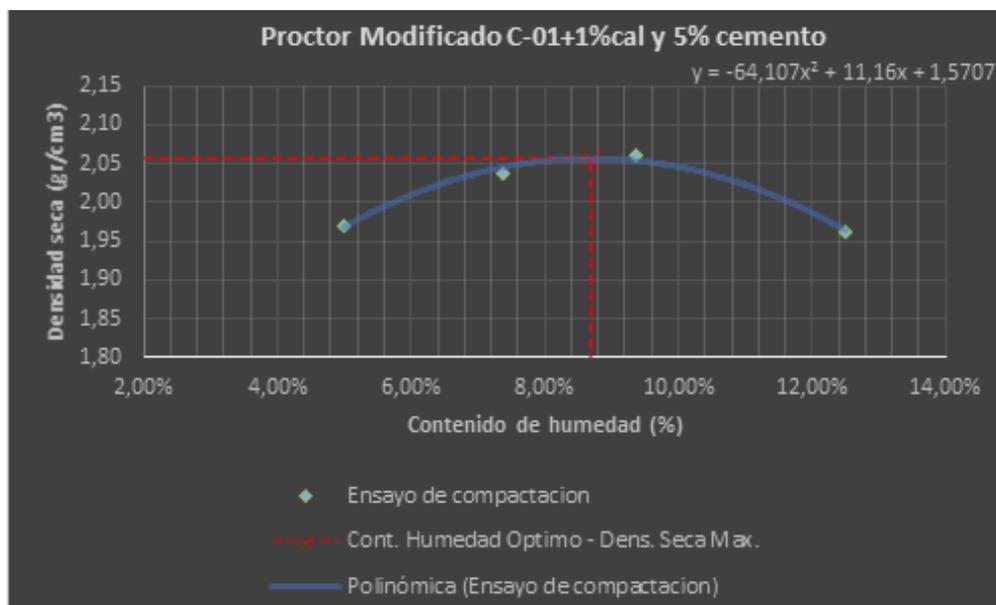


b) Calicata N°1 – Suelo más 1% cal y 5% cemento.

Tabla 63:

Proctor Modificado de la Calicata 01 más 1% Cal y 5% Cemento.

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD – C1 + 1% cal + 5% cemento				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum	58.6	52.93	55.38	54.62
(C) +Muestra seca	56.61	50.4	51.91	50.22
Peso del Agua	1.99	2.53	3.47	4.4
Capsula (C)	16.71	16.1	14.92	15
Peso muestra seca	39.9	34.3	36.99	35.22
Porcentaje de Humedad (W)	4.99%	7.38%	9.38%	12.49%
DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:			2155.92
	Peso del molde			5800
Porcentaje de Humedad (Wm)	0.05	0.07	0.09	0.12
Molde + Peso de Muestra	10260	10515	10660	10560
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)	4460	4715	4860	4760
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.07	2.19	2.25	2.21
Densidad seca (γ seca) (gr/cm3)	1.97	2.04	2.06	1.96



Porcentaje de Humedad Optimo (%) 8.70%

Máxima Densidad Seca (gr/cm3) 2.06

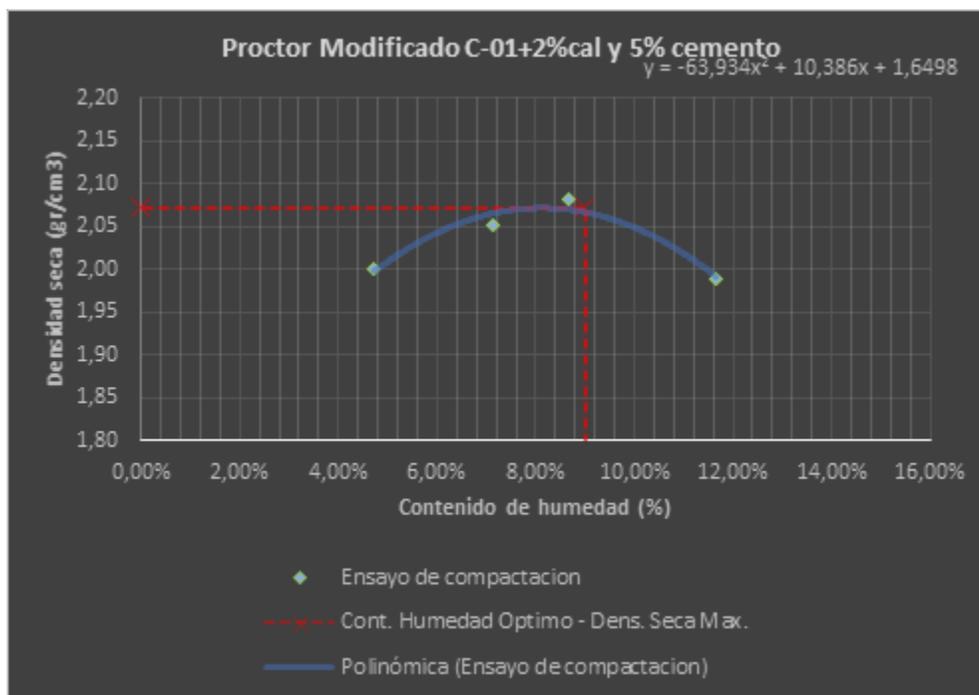


c) Calicata N°1 – Suelo más 2% cal y 5% cemento.

Tabla 64:

Proctor Modificado de la Calicata 01 más 2% Cal y 5% Cemento.

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD – C1 + 2% cal + 5% cemento				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum	58.85	53.18	55.63	54.87
(C) +Muestra seca	56.95	50.74	52.25	50.56
Peso del Agua	1.9	2.44	3.38	4.31
Capsula (C)	16.81	16.46	13.24	13.57
Peso muestra seca	40.14	34.28	39.01	36.99
Porcentaje de Humedad (W)	4.73%	7.12%	8.66%	11.65%
DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:			2155.92
	Peso del molde			5801
Porcentaje de Humedad (Wm)	0.05	0.07	0.09	0.12
Molde + Peso de Muestra	10321	10538	10680	10590
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)	4520	4737	4879	4789
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.10	2.20	2.26	2.22
Densidad seca (y seca) (gr/cm3)	2.00	2.05	2.08	1.99



Porcentaje de Humedad Optimo (%) 9.21%

Máxima Densidad Seca (gr/cm3) 2.07

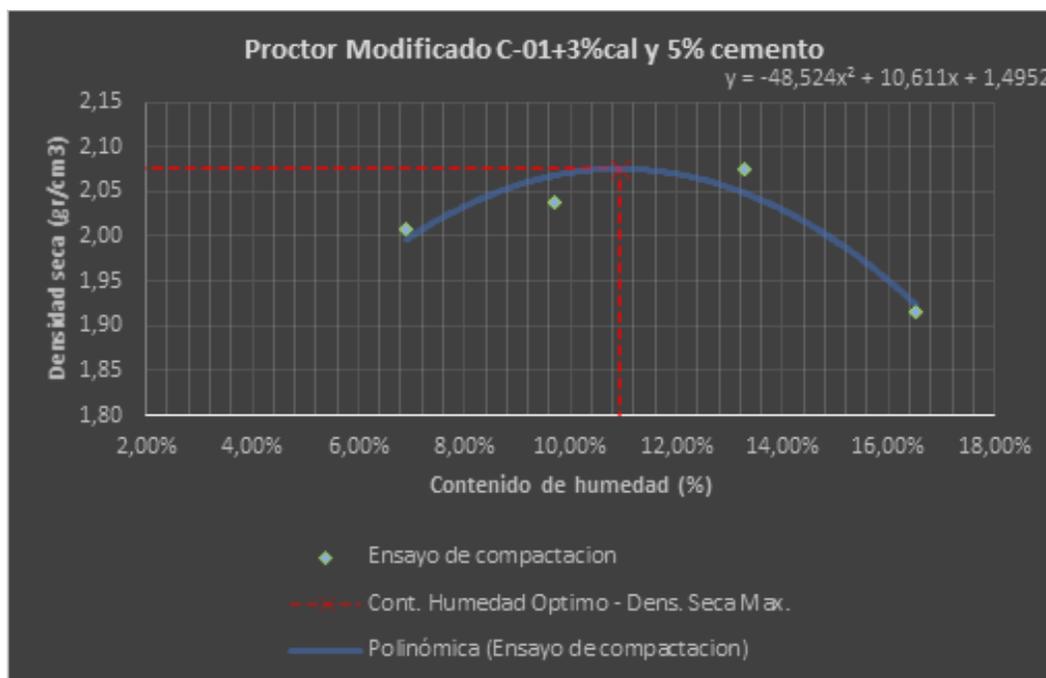


d) Calicata N°1 – Suelo más 3% cal y 5% cemento.

Tabla 65:

Proctor Modificado de la Calicata 01 más 3% Cal y 5% Cemento.

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD – C1 + 3% cal + 5% cemento				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum	58.41	56.28	51.84	62.06
(C) +Muestra seca	55.69	52.73	47.67	55.45
Peso del Agua	2.72	3.55	4.17	6.61
Capsula (C)	16.17	16.17	16.3	15.42
Peso muestra seca	39.52	36.56	31.37	40.03
Porcentaje de Humedad (W)	6.88%	9.71%	13.29%	16.51%
DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:			2155.92
	Peso del molde			5988
Porcentaje de Humedad (Wm)	0.07	0.10	0.13	0.17
Molde + Peso de Muestra	10613	10811	11057	10798
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)	4625	4823	5069	4810
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.15	2.24	2.35	2.23
Densidad seca (yseca) (gr/cm3)	2.01	2.04	2.08	1.91



Porcentaje de Humedad Optimo (%) 10.93%

Máxima Densidad Seca (gr/cm3) 2.08



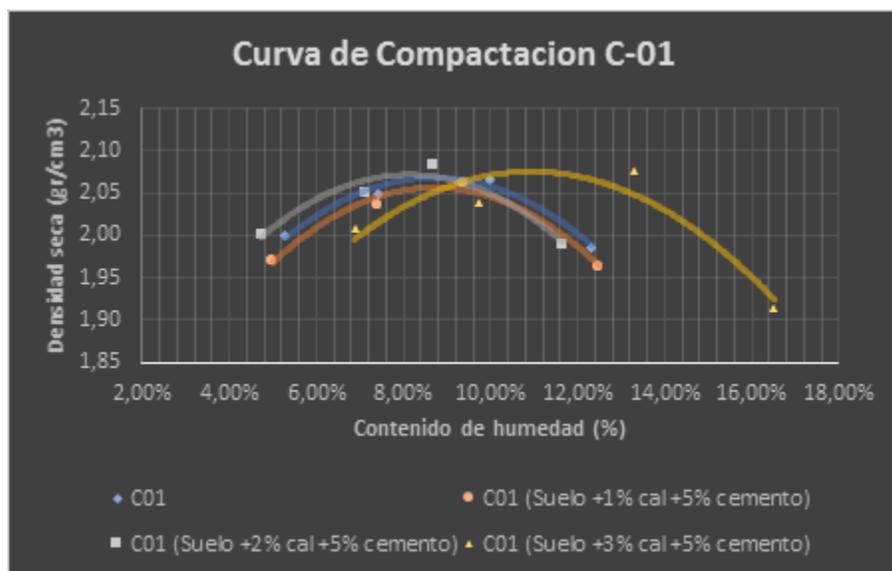
e) Calicata N° 01 – Suelo más 1% cal y 5% cemento, 2% cal y 5% cemento, 3 cal y 5% cemento

Tabla 66:

Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 01 – Suelo más Aditivos.

Calicata 1		Calicata 1 (Suelo +1% cal +5% cemento)	
Contenido de Humedad (%)	Densidad seca (gr/m3)	Contenido de Humedad (%)	Densidad seca (gr/m3)
5.29 %	2.00	4.99 %	1.97
7.42 %	2.05	7.38 %	2.04
9.97 %	2.07	9.38 %	2.06
Calicata 1 (Suelo +2% cal +5% cemento)		Calicata 1 (Suelo +3% cal +5% cemento)	
Contenido de Humedad (%)	Densidad seca (gr/m3)	Contenido de Humedad (%)	Densidad seca (gr/m3)
4.73 %	2.00	6.88 %	2.01
7.12 %	2.05	9.71 %	2.04
8.66 %	2.08	13.29 %	2.08

COMPILACION	Cont. de Humedad optimo (%)	Dens. Seca Máxima (gr/m3)
C01 (suelo más desfavorable)	8.71%	2.07
C01 (Suelo +1% cal +5% cemento)	8.70%	2.06
C01 (Suelo +2% cal +5% cemento)	9.21%	2.07
C01 (Suelo +3% cal +5% cemento)	10.93%	2.08





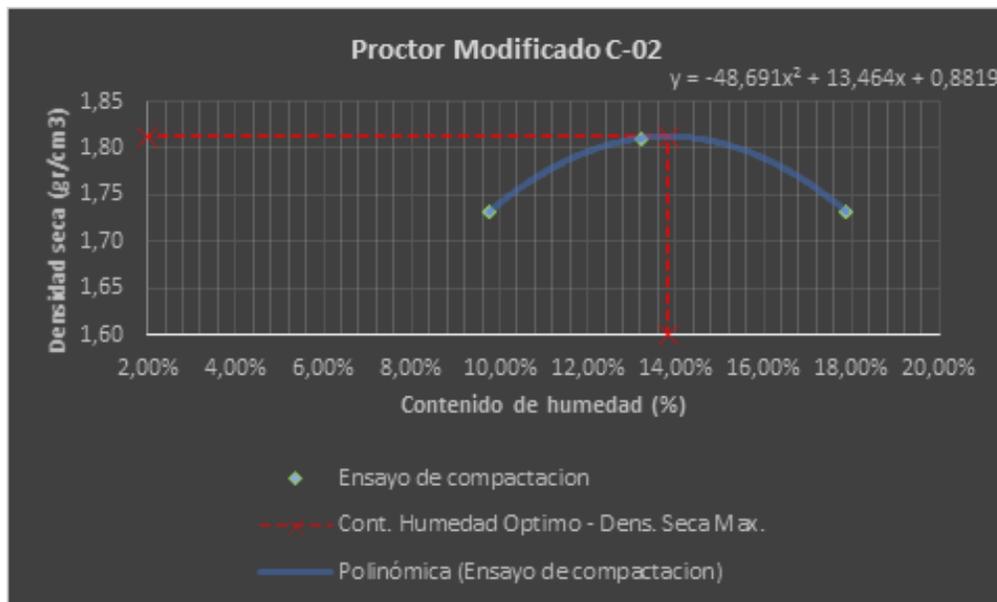
Calicata N°2

a) Calicata N°2 – Suelo natural

Tabla 67:

Proctor Modificado de la Calicata 02 – Suelo más Desfavorable.

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD - C2				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum	94.03	110.05	113.72	-
(C) +Muestra seca	87.12	99.14	99.38	-
Peso del Agua	6.91	10.91	14.34	-
Capsula (C)	16.49	16.52	19.17	-
Peso muestra seca	70.63	82.62	80.21	-
Porcentaje de Humedad (W)	9.78%	13.21%	17.88%	-
DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:			943.96
	Peso del molde			3733
Porcentaje de Humedad (Wm)	0.10	0.13	0.18	-
Molde + Peso de Muestra	5529	5668	5661	-
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)	1796	1935	1928	-
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.90	2.05	2.04	-
Densidad seca (γ seca) (gr/cm³)	1.73	1.81	1.73	-



Porcentaje de Humedad Optimo (%)	13.83%
----------------------------------	--------

Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	1.81
--	------

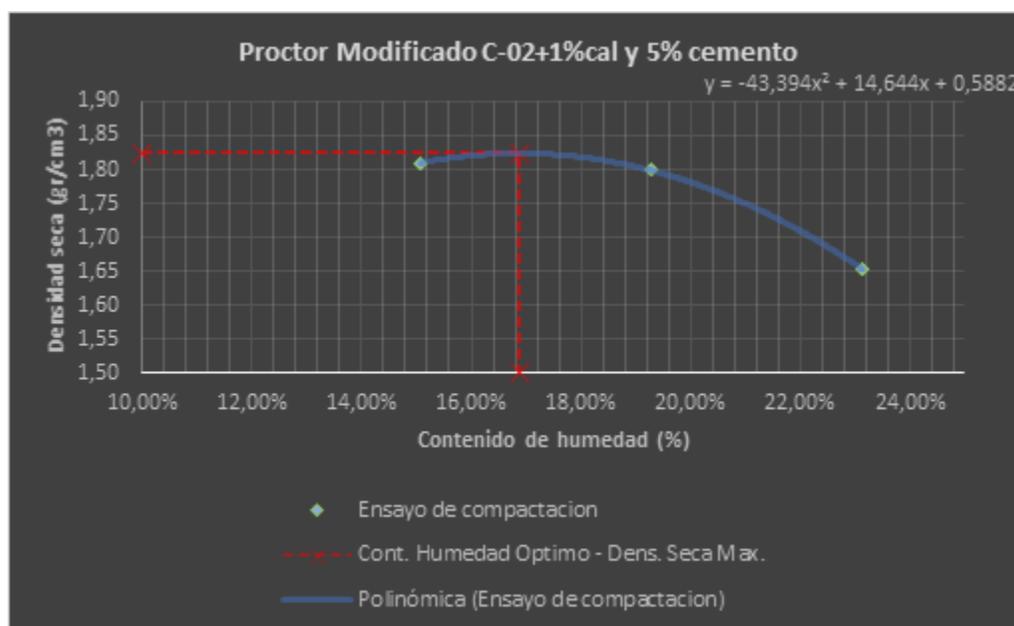


b) Calicata N°2 – Suelo más desfavorable más 1% cal y 5% cemento.

Tabla 68:

Proctor Modificado de la Calicata 02 – Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD - C2 + 1% cal + 5% cemento				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum	96.1	107.47	105.99	-
(C) +Muestra seca	85.65	92.71	89.00	-
Peso del Agua	10.45	14.76	16.99	-
Capsula (C)	16.38	16.12	15.55	-
Peso muestra seca	69.27	76.59	73.45	-
Porcentaje de Humedad (W)	15.09%	19.27%	23.13%	-
DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:			943.96
	Peso del molde			3668
Porcentaje de Humedad (Wm)	0.15	0.19	0.23	-
Molde + Peso de Muestra	5634	5693	5590	-
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)	1966	2025	1922	-
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.08	2.15	2.04	-
Densidad seca (y seca) (gr/cm3)	1.81	1.80	1.65	-



Porcentaje de Humedad Optimo (%) 16.87 %

Máxima Densidad Seca (gr/cm3) 1.82

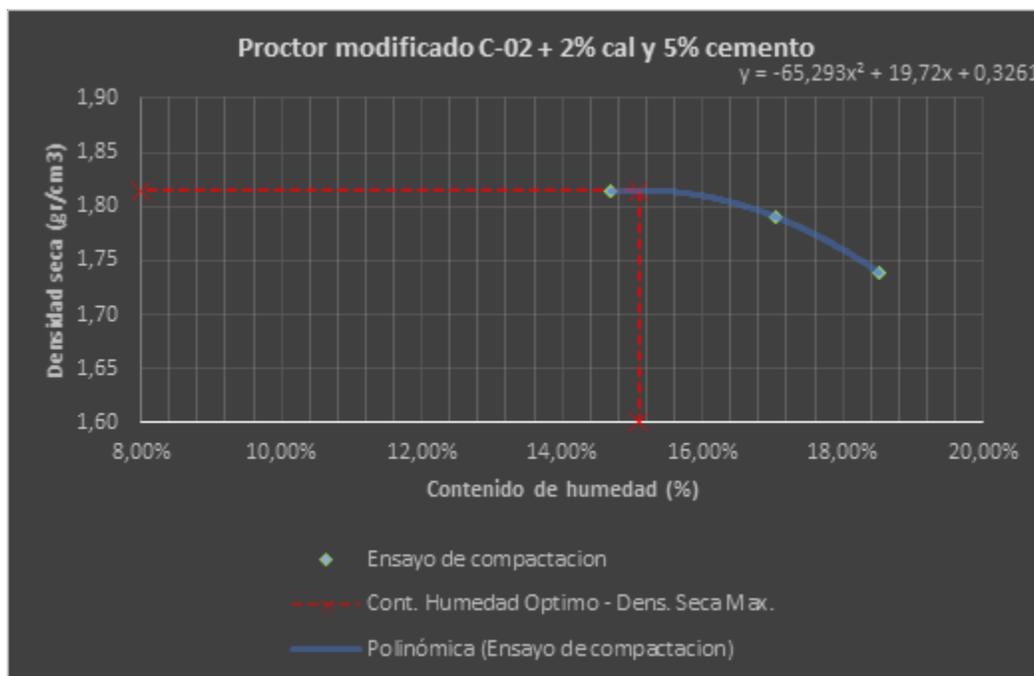


c) Calicata N°2 – Suelo más desfavorable más 2% cal y 5% cemento.

Tabla 69:

Proctor Modificado de la Calicata 02 – Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD - C2 + 2% cal + 5% cemento				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum	100.95	98.17	99.23	-
(C) +Muestra seca	90.09	85.82	87.45	-
Peso del Agua	10.86	12.35	11.78	-
Capsula (C)	16.19	19.17	18.4	-
Peso muestra seca	73.9	66.65	69.05	-
Porcentaje de Humedad (W)	14.70%	18.53%	17.06%	-
DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:			943.96
	Peso del molde			3733
Porcentaje de Humedad (Wm)	0.15	0.19	0.17	-
Molde + Peso de Muestra	5697	5678	5711	-
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)	1964	1945	1978	-
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.08	2.06	2.10	-
Densidad seca (y seca) (gr/cm3)	1.81	1.74	1.79	-



Porcentaje de Humedad Optimo (%)	15.1 %
----------------------------------	--------

Máxima Densidad Seca (gr/cm3)	1.82
-------------------------------	------

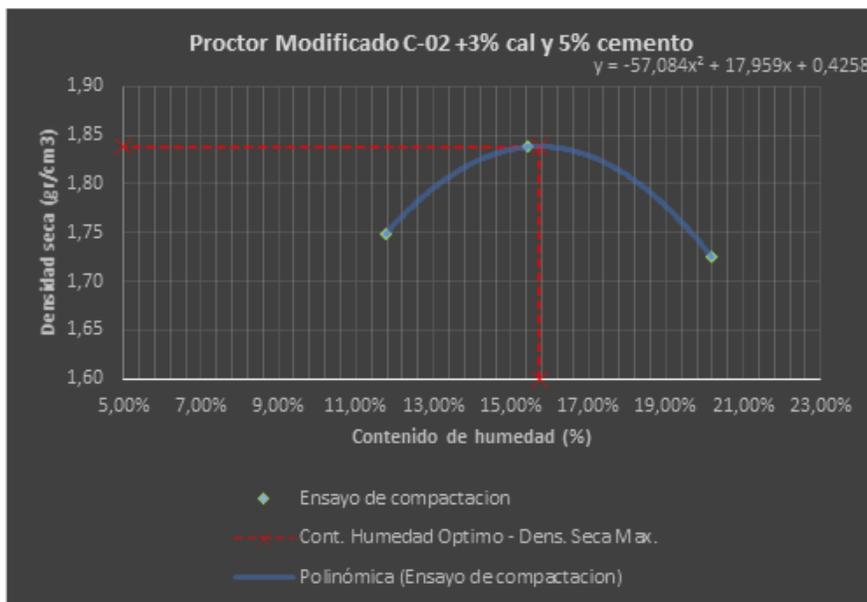


d) Calicata N°2 – Suelo más desfavorable más 3% cal y 5% cemento.

Tabla 70:

Proctor Modificado de la Calicata 02 – Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD - C2 + 3% cal + 5% cemento				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum	97.48	102.37	96.8	
(C) +Muestra seca	86.91	87.79	88.31	-
Peso del Agua	10.57	14.58	8.49	
Capsula (C)	18.5	15.57	16.26	
Peso muestra seca	68.41	72.22	72.05	-
Porcentaje de Humedad (W)	15.45%	20.19%	11.78%	-
DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:			943.96
	Peso del molde			3670
Porcentaje de Humedad (Wm)	0.15	0.20	0.12	-
Molde + Peso de Muestra	5673	5627	5516	
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)	2003	1957	1846	-
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.12	2.07	1.96	-
Densidad seca (γ seca) (gr/cm3)	1.84	1.72	1.75	-



Porcentaje de Humedad Optimo (%) 15.73 %

Máxima Densidad Seca (gr/cm3) 1.84



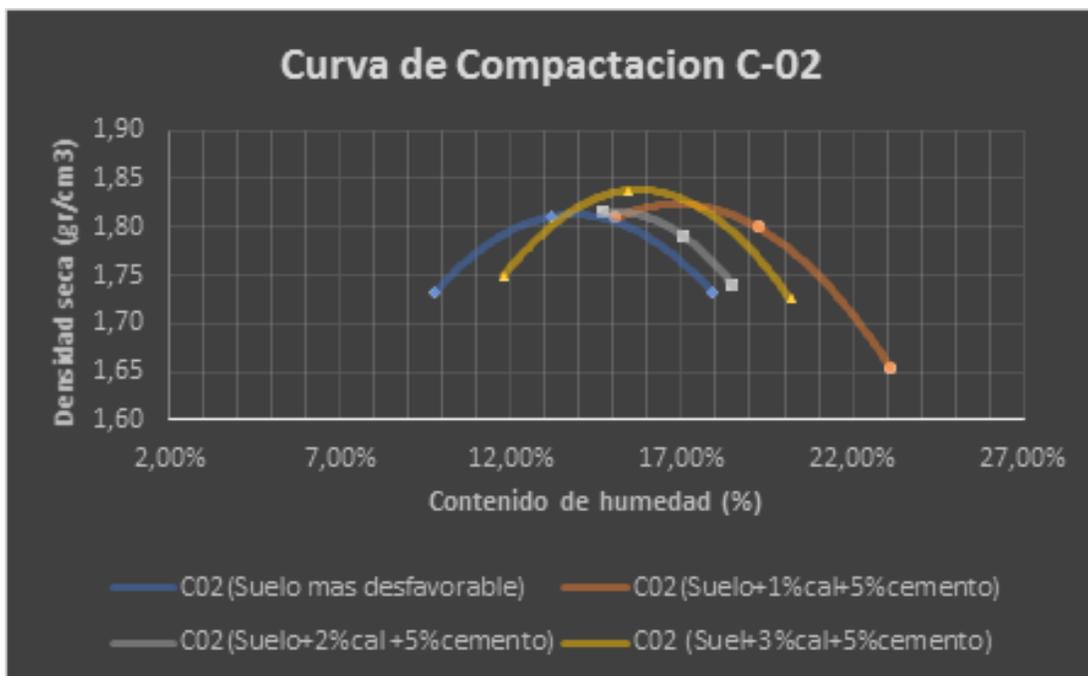
- e) Calicata N° 02 - Suelo más desfavorable, más 1% cal y 5% cemento, 2% cal y 5% cemento, 3 cal y 5% cemento

Tabla 71:

Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 02 – Suelo más Desfavorable más Aditivos.

Calicata 2 (Suelo más desfavorable)		Calicata 2 (Suelo +1% cal +5% cemento)	
Cont. de Humedad (%)	Dens. seca (gr/m3)	Cont. de Humedad (%)	Dens. seca (gr/m3)
9.78%	1.73	15.09%	1.81
13.21%	1.81	19.27%	1.80
17.88%	1.73	23.13%	1.65
Calicata 2 (Suelo +2% cal +5% cemento)		Calicata 2 (Suelo +3% cal +5% cemento)	
Cont. de Humedad (%)	Dens. seca (gr/m3)	Cont. de Humedad (%)	Dens. seca (gr/m3)
14.70%	1.81	15.45%	1.84
18.53%	1.74	20.19%	1.72
17.06%	1.79	11.78%	1.75

COMPILACION	Cont. de Humedad optimo (%)	Dens. Seca Máxima (gr/m3)
C02 (suelo más desfavorable)	13.83%	1.81
C02 (Suelo +1% cal +5% cemento)	16.87%	1.82
C02 (Suelo +2% cal +5% cemento)	15.1%	1.82
C02 (Suelo +3% cal +5% cemento)	15.73%	1.84





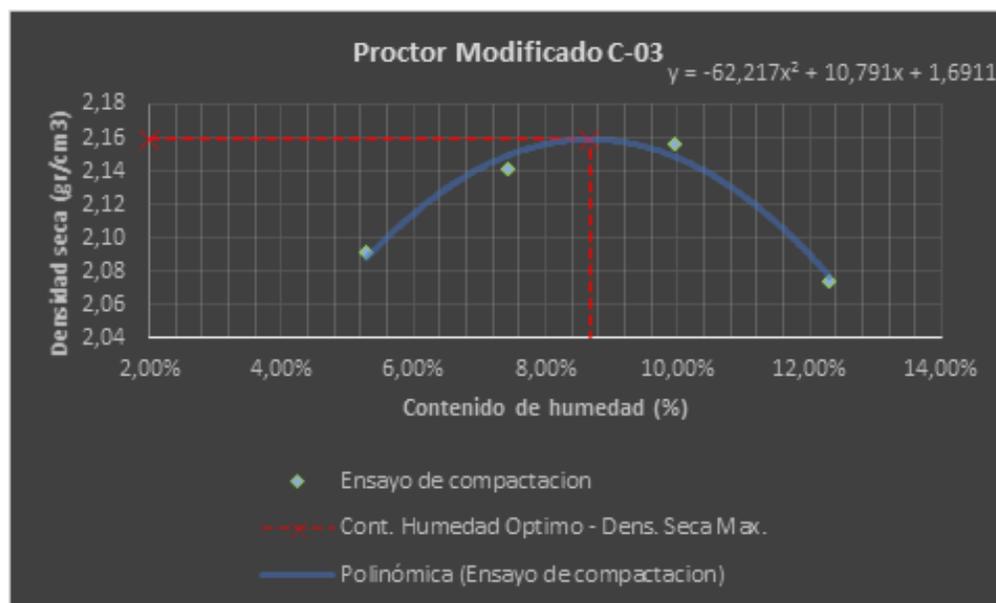
Calicata N°3

a) Calicata N°3 – Suelo natural

Tabla 72:

Proctor Modificado de la Calicata 03.

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD – C3				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum	55.10	57.09	56.08	60.30
(C) +Muestra seca	53.18	54.25	52.53	55.53
Peso del Agua	1.9176	2.8356	3.5496	4.7736
Capsula (C)	16.94	16.05	16.93	16.76
Peso muestra seca	36.2406	38.199	35.598	38.7702
Porcentaje de Humedad (W)	5.29%	7.42%	9.97%	12.31%
DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:			2155.92
	Peso del molde			5801
Porcentaje de Humedad (Wm)	0.05	0.07	0.10	0.12
Molde + Peso de Muestra	10548	10759	10914	10822
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)	4746.82	4957.96	5113	5021.2
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.20	2.30	2.37	2.33
Densidad seca (γseca) (gr/cm3)	2.09	2.14	2.16	2.07



Porcentaje de Humedad Optimo (%) 8.67 %

Máxima Densidad Seca (gr/cm3) 2.16

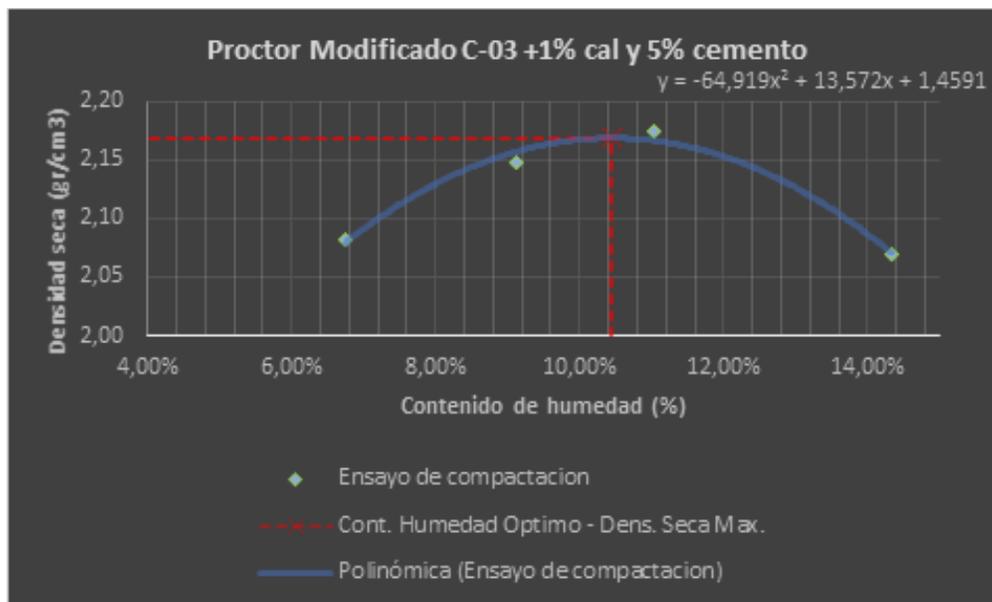


b) Calicata N°3 – Suelo más 1% cal y 5% cemento.

Tabla 73:

Proctor Modificado de la Calicata 03 – Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD – C3 + 1% cal + 5% cemento				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum	65.93	59.55	62.30	61.45
(C) +Muestra seca	62.84	55.94	57.62	55.74
Peso del Agua	3.0879	3.60225	4.6824	5.7033
Capsula (C)	17.04	16.42	15.22	15.95
Peso muestra seca	45.7929	39.522	42.4017	39.7914
Porcentaje de Humedad (W)	6.74%	9.11%	11.04%	14.33%
DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:			2155.92
	Peso del molde			5800
Porcentaje de Humedad (Wm)	0.07	0.09	0.11	0.14
Molde + Peso de Muestra	10591	10854	11003	10900
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)	4791	5054	5203	5100
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.22	2.34	2.41	2.37
Densidad seca (yseca) (gr/cm3)	2.08	2.15	2.17	2.07



Porcentaje de Humedad Optimo (%) 10.45 %

Máxima Densidad Seca (gr/cm3) 2.17

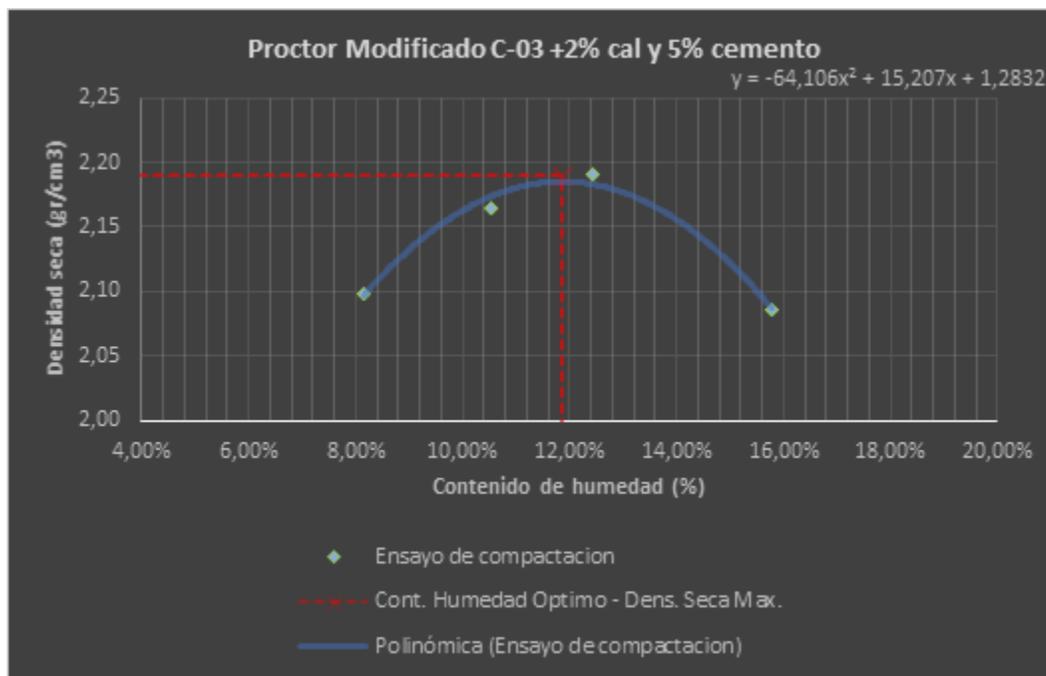


c) Calicata N°3 – Suelo más 2% cal y 5% cemento.

Tabla 74:

Proctor Modificado de la Calicata 03 – Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD – C3 + 2% cal + 5% cemento				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum	66.96	60.51	63.29	62.43
(C) +Muestra seca	63.21	56.32	58.00	56.12
Peso del Agua	3.7432645	4.1852086	5.2966451	6.3078399
Capsula (C)	17.21	16.58	15.37	16.11
Peso muestra seca	46.0032	39.7384	42.6299	40.0124
Porcentaje de Humedad (W)	8.14%	10.53%	12.42%	15.76%
DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:			2155.92
	Peso del molde			5800
Porcentaje de Humedad (Wm)	0.08	0.11	0.12	0.16
Molde + Peso de Muestra	10693	10959	11110	11006
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)	4893.19772	5158.96433	5310.08652	5205.86432
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.27	2.39	2.46	2.41
Densidad seca (γ seca) (gr/cm3)	2.10	2.16	2.19	2.09



Porcentaje de Humedad Optimo (%) 10.45 %

Máxima Densidad Seca (gr/cm3) 2.17

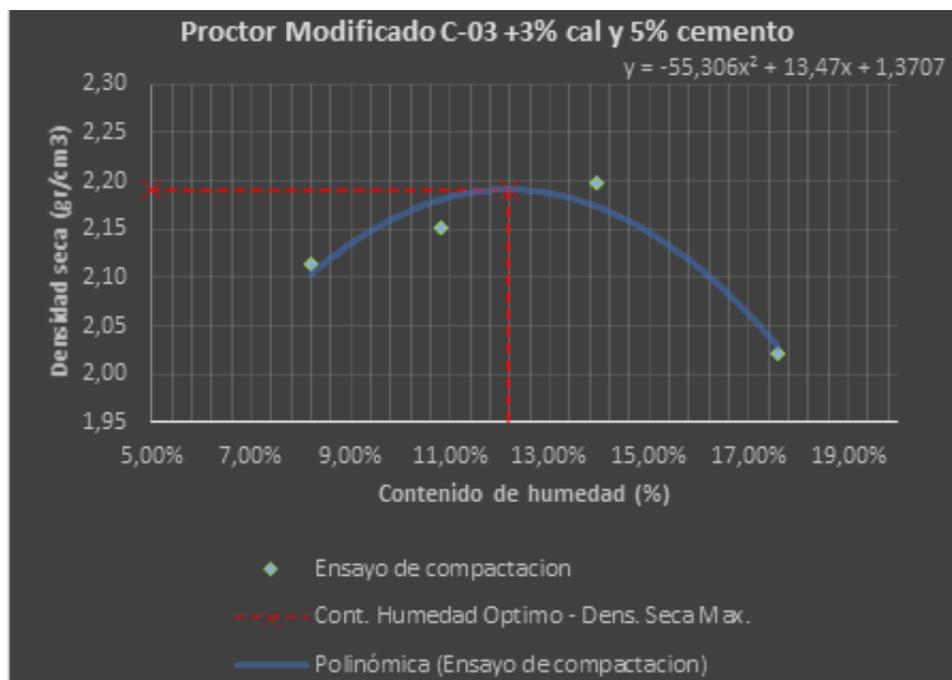


d) Calicata N°3 – Suelo más 3% cal y 5% cemento.

Tabla 75:

Proctor Modificado de la Calicata 03 – Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD – C3 + 3% cal + 5% cemento				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum	66.72	64.28	59.21	70.89
(C) +Muestra seca	62.93	59.64	54.02	62.66
Peso del Agua	3.7911702	4.6438416	5.1889848	8.2266732
Capsula (C)	16.66	16.66	16.79	15.88
Peso muestra seca	46.2708	42.9852	37.2347	46.7769
Porcentaje de Humedad (W)	8.19%	10.80%	13.94%	17.59%
DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:			2155.92
	Peso del molde			5988
Porcentaje de Humedad (Wm)	0.08	0.11	0.14	0.18
Molde + Peso de Muestra	10920	11128	11387	11115
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)	4932	5140	5399	5127
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.29	2.38	2.50	2.38
Densidad seca (γ seca) (gr/cm3)	2.11	2.15	2.20	2.02



Porcentaje de Humedad Optimo (%) 10.45 %

Máxima Densidad Seca (gr/cm3) 2.17



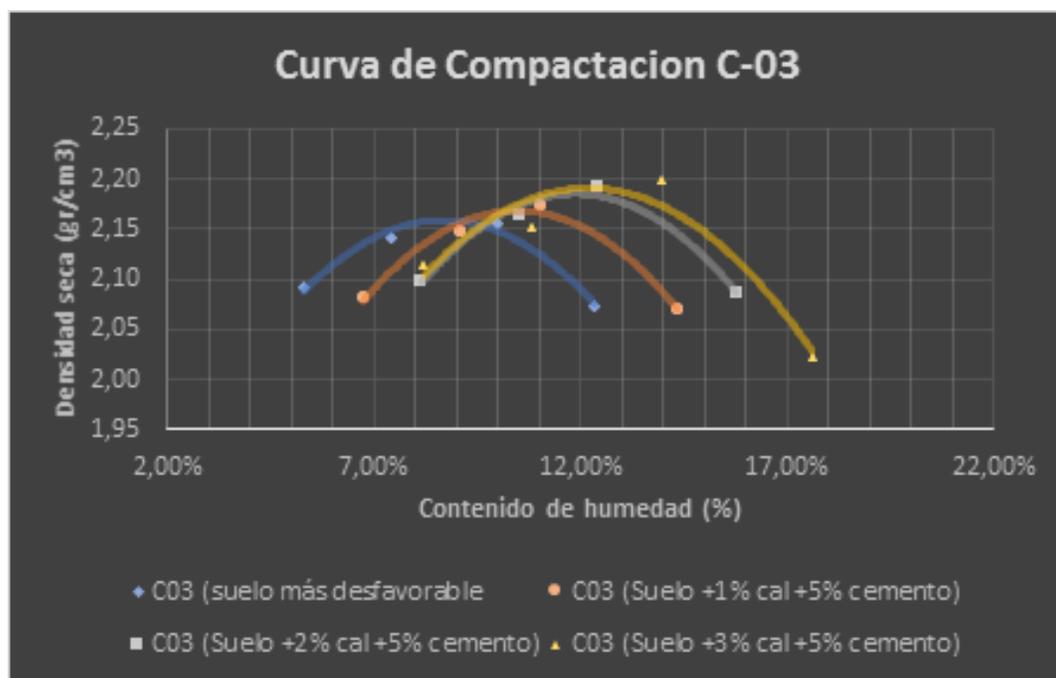
- e) Calicata N° 03 – Suelo más 1% cal y 5% cemento, 2% cal y 5% cemento, 3 cal y 5% cemento

Tabla 76:

Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 03 – Suelo más Aditivos.

Calicata 3 (Suelo más desfavorable)		Calicata 3 (Suelo +1% cal +5% cemento)	
Cont. de Humedad (%)	Dens. seca (gr/m ³)	Cont. de Humedad (%)	Dens. seca (gr/m ³)
5.29%	2.09	6.74%	2.08
7.42%	2.14	9.11%	2.15
9.97%	2.16	11.04%	2.17
Calicata 3 (Suelo +2% cal +5% cemento)		Calicata 3 (Suelo +3% cal +5% cemento)	
Cont. de Humedad (%)	Dens. seca (gr/m ³)	Cont. de Humedad (%)	Dens. seca (gr/m ³)
8.14%	2.10	8.19%	2.11
10.53%	2.16	10.80%	2.15
15.76%	2.19	13.94%	2.20

COMPILACION	Cont. de Humedad optimo (%)	Dens. Seca Máxima (gr/m ³)
C03 (suelo más desfavorable)	8.67%	2.16
C03 (Suelo +1% cal +5% cemento)	10.45%	2.17
C03 (Suelo +2% cal +5% cemento)	11.86%	2.19
C03 (Suelo +3% cal +5% cemento)	12.18%	2.19





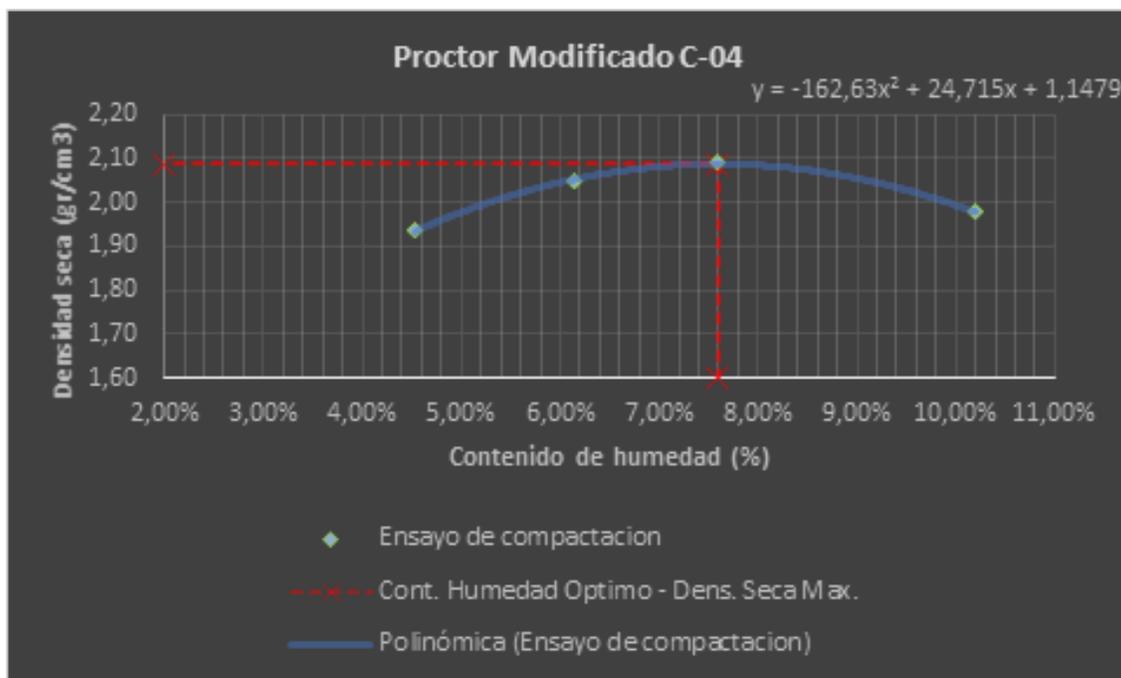
Calicata N°4

a) Calicata N°4 – Suelo natural

Tabla 77:

Proctor Modificado de la Calicata 04.

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD – C4				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum	51.64	51.26	54.51	58.35
(C) +Muestra seca	50.1	49.16	51.72	54.5
Peso del Agua	1.54	2.1	2.79	3.85
Capsula (C)	16.1	14.93	15	16.71
Peso muestra seca	34	34.23	36.72	37.79
Porcentaje de Humedad (W)	4.53%	6.13%	7.60%	10.19%
DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:			2155.92
	Peso del molde			5792
Porcentaje de Humedad (Wm)	10153	10478	10641	10489
Molde + Peso de Muestra	4361	4686	4849	4697
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)	2.02	2.17	2.25	2.18
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.94	2.05	2.09	1.98
Densidad seca (yseca) (gr/cm3)	10153	10478	10641	10489



Porcentaje de Humedad Optimo (%)	7.60 %
----------------------------------	--------

Máxima Densidad Seca (gr/cm3)	2.09
-------------------------------	------

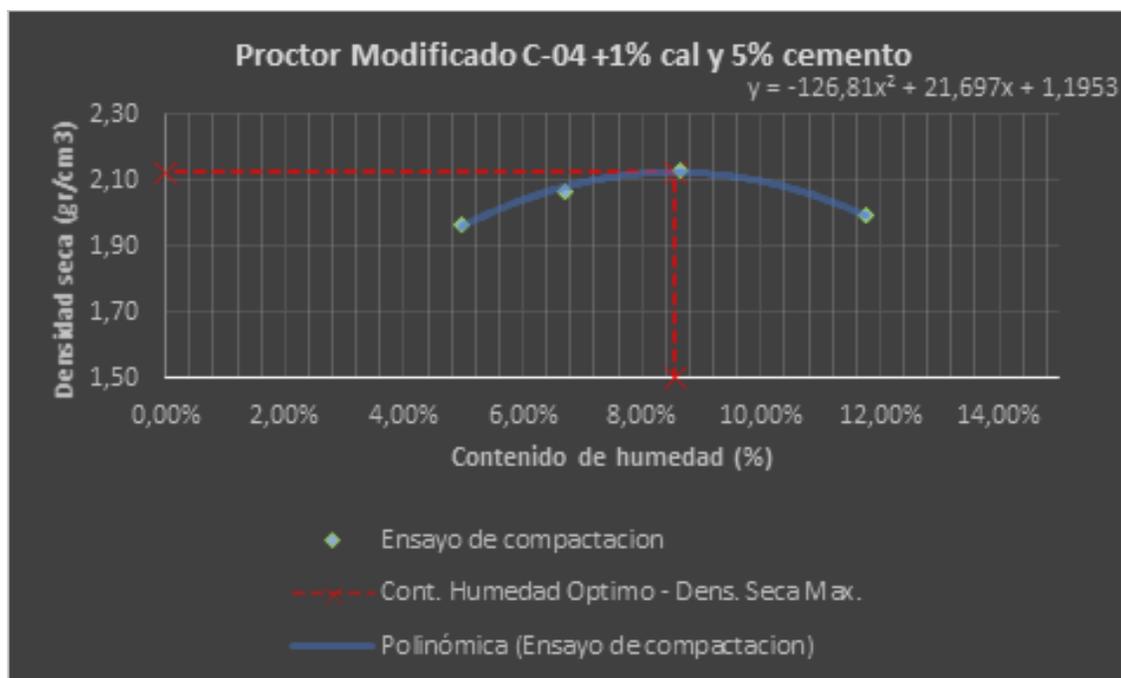


b) Calicata N°4 – Suelo más 1% cal y 5% cemento.

Tabla 78:

Proctor Modificado de la Calicata 04 – Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD – C4 + 1% cal + 5% cemento				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum	58.6	59.37	55.44	52.36
(C) +Muestra seca	56.61	56.7	52.24	48.62
Peso del Agua	1.99	2.67	3.2	3.74
Capsula (C)	16.71	16.83	15.3	16.8
Peso muestra seca	39.9	39.87	36.94	31.82
Porcentaje de Humedad (W)	4.99%	6.70%	8.66%	11.75%
DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:			2155.92
	Peso del molde			5989
Porcentaje de Humedad (Wm)	0.05	0.07	0.09	0.12
Molde + Peso de Muestra	10440	10747	10983	10788
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)	4451	4758	4994	4799
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.06	2.21	2.32	2.23
Densidad seca (γ seca) (gr/cm3)	1.97	2.07	2.13	1.99



Porcentaje de Humedad Optimo (%)	8.55 %
----------------------------------	--------

Máxima Densidad Seca (gr/cm3)	2.12
-------------------------------	------

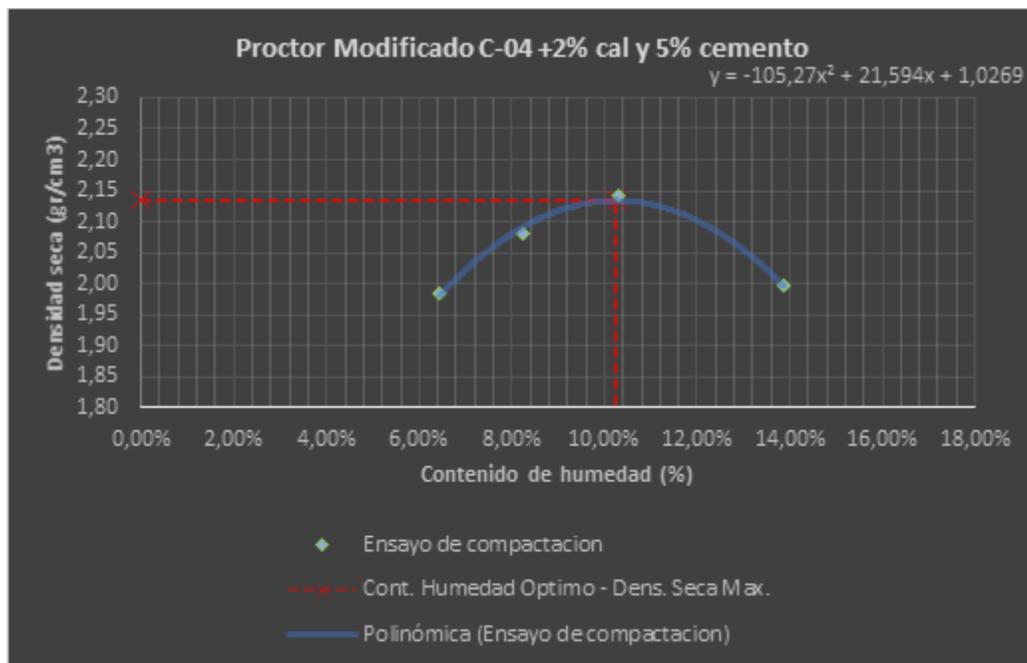


c) Calicata N°4 – Suelo más 2% cal y 5% cemento.

Tabla 79:

Proctor Modificado de la Calicata 04 – Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD – C4 + 2% cal + 5% cemento				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum	58.47	59.24	55.32	52.24
(C) +Muestra seca	56.04	56.13	51.72	48.13
Peso del Agua	2.43	3.11	3.60	4.11
Capsula (C)	18.38	18.51	16.83	18.48
Peso muestra seca	37.66	37.62	34.88	29.65
Porcentaje de Humedad (W)	6.44%	8.25%	10.32%	13.86%
DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:			2155.92
	Peso del molde			5792
Porcentaje de Humedad (Wm)	0.06	0.08	0.10	0.14
Molde + Peso de Muestra	10347.20	10651.47	10885.37	10692.11
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)	4555.20	4859.47	5093.37	4900.10
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.11	2.25	2.36	2.27
Densidad seca (y seca) (gr/cm3)	1.99	2.08	2.14	2.00



Porcentaje de Humedad Optimo (%)	10.26 %
----------------------------------	---------

Máxima Densidad Seca (gr/cm3)	2.13
-------------------------------	------

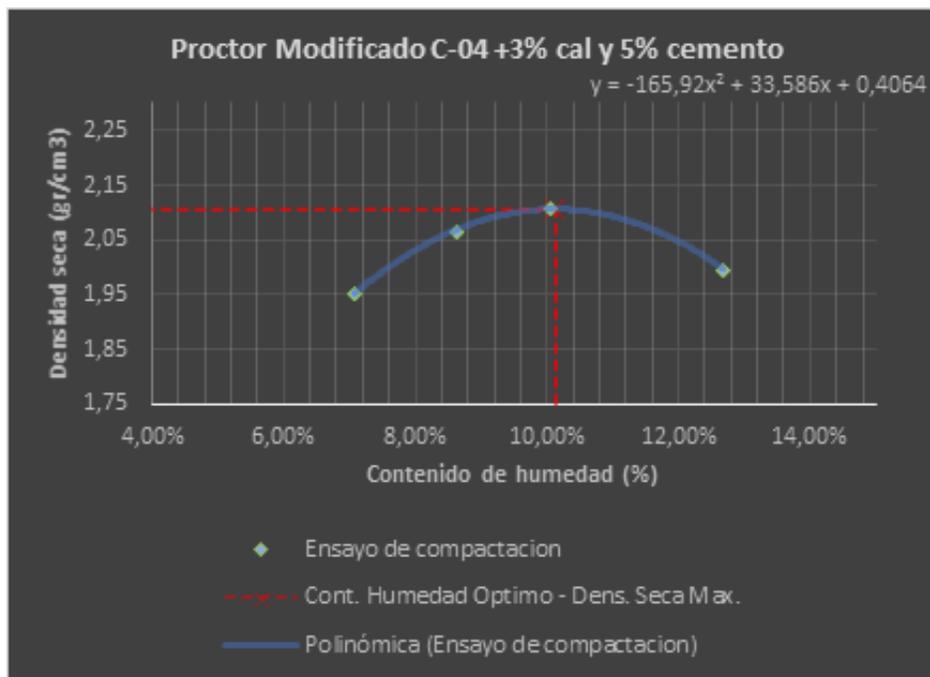


d) Calicata N°4 – Suelo más 3% cal y 5% cemento.

Tabla 80:

Proctor Modificado de la Calicata 04 – Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.

EVALUACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD – C4 + 3% cal + 5% cemento				
PRUEBA NUMERO	M-1	M-2	M-3	M-4
(C) + Muestra Hum	53.36	52.97	56.33	60.29
(C) +Muestra seca	50.88	49.92	52.52	55.35
Peso del Agua	2.48	3.04	3.80	4.95
Capsula (C)	15.78	14.63	14.70	16.38
Peso muestra seca	35.10	35.29	37.82	38.97
Porcentaje de Humedad (W)	7.07%	8.62%	10.05%	12.69%
DENSIDAD DE LA MUESTRA	Volumen del molde:			2155.92
	Peso del molde			5792
Porcentaje de Humedad (Wm)	0.07	0.09	0.10	0.13
Molde + Peso de Muestra	10299.65	10629.35	10794.70	10640.51
Peso de muestra Húmeda Compactada (gr)	4507.65	4837.35	5002.70	4848.51
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.09	2.24	2.32	2.25
Densidad seca (γseca) (gr/cm3)	1.95	2.07	2.11	2.00



Porcentaje de Humedad Optimo (%) 10.12 %

Máxima Densidad Seca (gr/cm3) 2.11



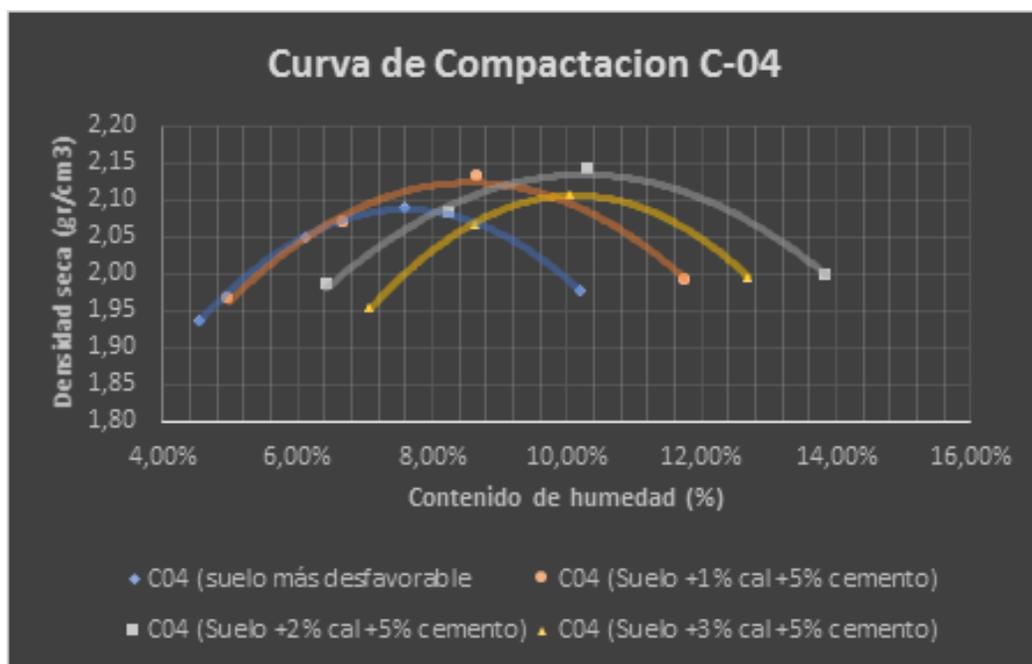
- e) Calicata N° 04 – Suelo más 1% cal y 5% cemento, 2% cal y 5% cemento, 3 cal y 5% cemento

Tabla 81:

Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 04 – Suelo más Aditivos.

Calicata 4 (Suelo Natural)		Calicata 4 (Suelo +1% cal +5% cemento)	
Cont. de Humedad (%)	Dens. seca (gr/m ³)	Cont. de Humedad (%)	Dens. seca (gr/m ³)
4.53%	1.94	4.9%	1.97
6.13%	2.05	6.70%	2.07
7.60%	2.09	8.66%	2.13
Calicata 4 (Suelo +2% cal +5% cemento)		Calicata 4 (Suelo +3% cal +5% cemento)	
Cont. de Humedad (%)	Dens. seca (gr/m ³)	Cont. de Humedad (%)	Dens. seca (gr/m ³)
6.44%	1.99	7.07%	1.95
8.25%	2.08	8.62%	2.07
10.32%	2.1	12.69%	2.11

COMPILACION	Contenido de Humedad optimo (%)	Densidad Seca Máxima (gr/m ³)
C04 (suelo más desfavorable)	7.60%	2.09
C04 (Suelo +1% cal +5% cemento)	8.55%	2.12
C04 (Suelo +2% cal +5% cemento)	10.26%	2.13
C04 (Suelo +3% cal +5% cemento)	10.12%	2.11





3.6.7.2. Análisis de la Prueba

Pudiéndose observar en los resultados que el contenido de humedad se incrementó ligeramente, al igual la densidad máxima seca de las cuatro calicatas ensayadas con los diferentes porcentajes de aditivos

	Calicata 01		Calicata 02		Calicata 03		Calicata 04	
	Contenido de humedad Optima (%)	Máxima densidad seca (gr/cm3)	Contenido de humedad Optima (%)	Máxima densidad seca (gr/cm3)	Contenido de humedad Optima (%)	Máxima densidad seca (gr/cm3)	Contenido de humedad Optima (%)	Máxima densidad seca (gr/cm3)
Suelo natural	8.71%	2.07	13.83%	1.81	8.67%	2.16	7.60%	2.09
Suelo +1%cal+5%cemento	8.70%	2.06	16.87%	1.82	10.45%	2.17	8.55%	2.12
Suelo +2%cal+5%cemento	9.21%	2.07	15.1%	1.82	11.86%	2.19	10.26%	2.13
Suelo +3%cal+5%cemento	10.93%	2.08	15.73%	1.84	12.18%	2.19	10.12%	2.11



3.6.8. Ensayo CBR en Laboratorio

3.6.8.1. Procesamiento y Cálculos.

Se halló el porcentaje expandido y relación de soporte CBR con las siguientes expresiones:

Formula 9:

Porcentaje de Expansión.

$$\text{Porcentaje de Expansión} = \frac{L2-L1}{127} \times 100 ; [\%]$$

Donde:

L1= Lectura inicial en mm

L2= Lectura final en mm

Formula 10:

Relación de Soporte Corregido CBR (0.1”).

$$\text{Relación de soporte corregido CBR (0.1”)} = \frac{\text{Esfuerzo corregido (Mpa)}}{\text{esfuerzo de referencia (Mpa)}} ; [\%]$$

Donde:

Esfuerzo de referencia = 6,9 Mpa (1000 lb/plg2)

Formula 11:

Relación de Soporte Corregido CBR (0.2”).

$$\text{Relación de soporte corregido CBR (0.2”)} = \frac{\text{Esfuerzo corregido (Mpa)}}{\text{esfuerzo de referencia (Mpa)}} ; [\%]$$

Donde:

Esfuerzo de referencia = 10,3 Mpa (1500 lb/plg2)



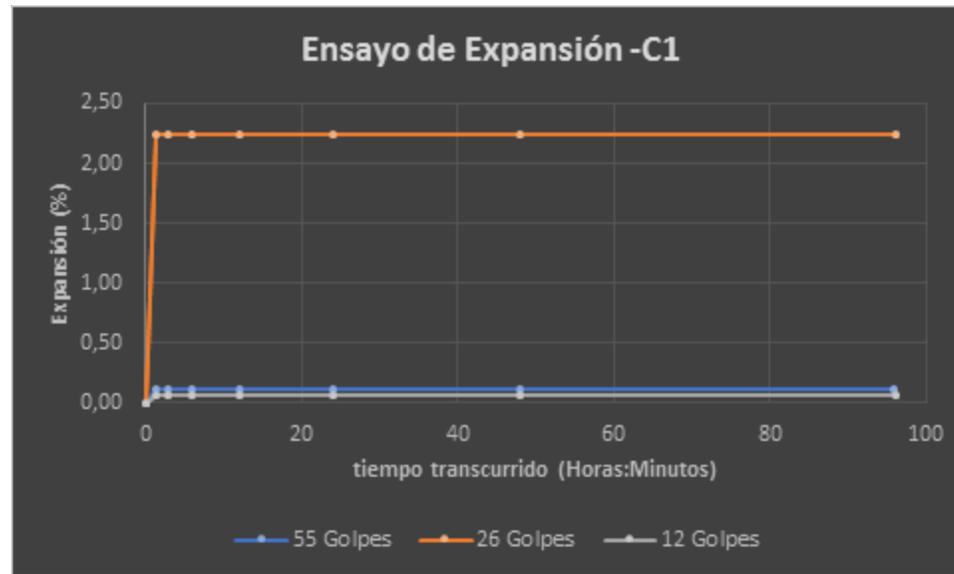
Calicata N°1

a) Calicata N° 01 – Suelo natural

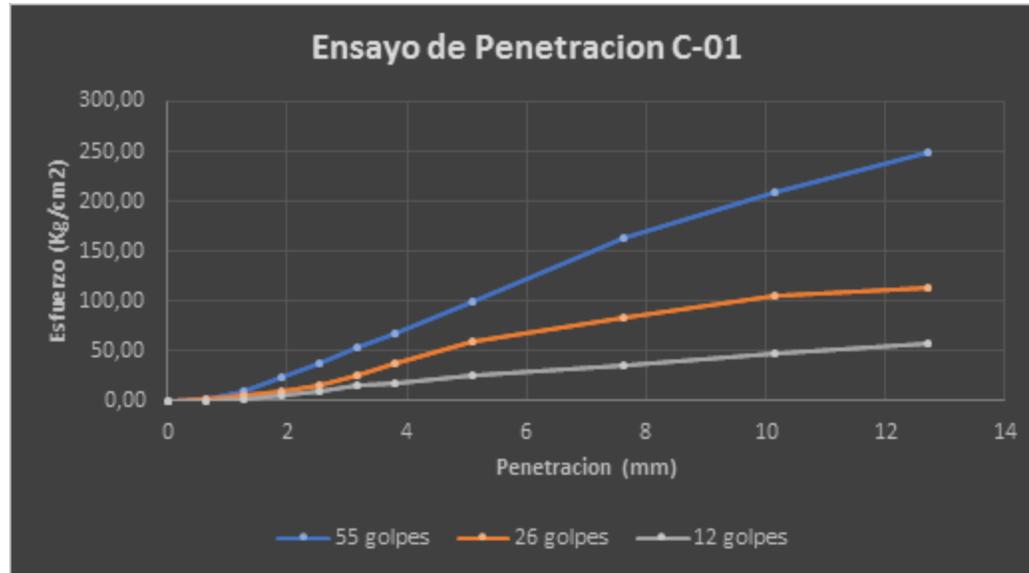
Tabla 82:

(CBR) de la Calicata 01.

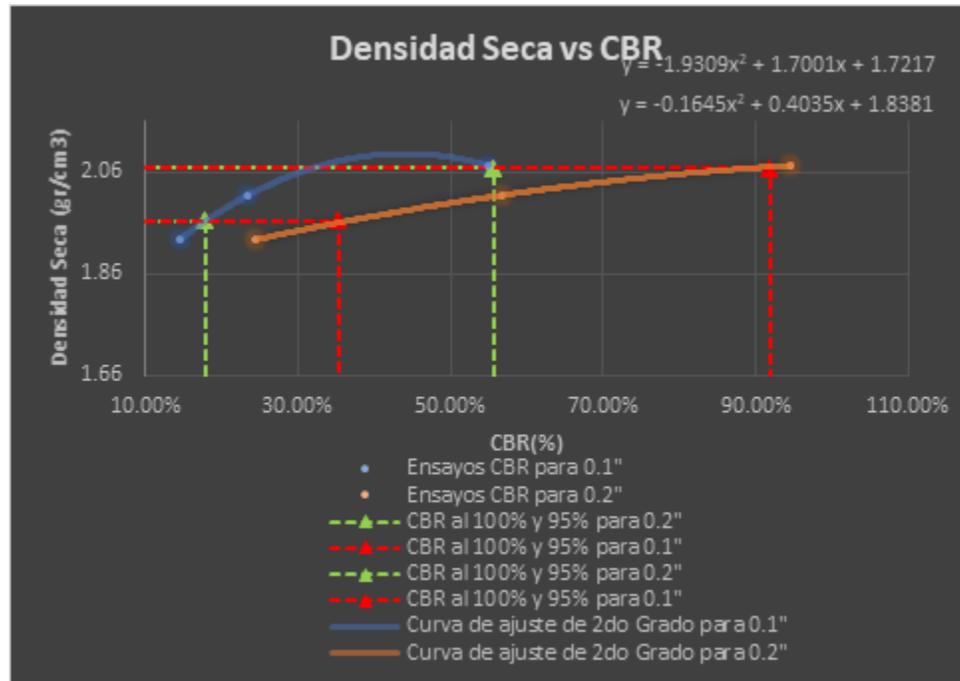
Ensayo de Expansión -C1													
Tiempo		55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
		Dial	Deformación		% de	Dial	deformación		% de	Dial	Deformación		% de
Días	HH:MM	(0.001")	Pulg	mm	Expansión	(0.001")	Pulg	mm	Expansión	(0.001")	Pulg	mm	Expansión
0	00 hor 00min	0.00	0.00	4.75	0.00	0.00	0.00	4.29	0.00	0.00	0.00	3.20	0.00
0.0625	1 hor 30 min	187.00	0.19	4.88	0.11	272.00	0.00	6.91	2.24	126.00	0.00	3.28	0.07
0.125	3 hor 00 min	187.00	0.00	4.88	0.11	272.00	0.00	6.91	2.24	129.00	0.00	3.28	0.07
0.25	6 hor 00 min	192.00	0.00	4.88	0.11	272.00	0.00	6.91	2.24	129.00	0.00	3.28	0.07
0.5	12 hor 00 min	192.00	0.00	4.88	0.11	272.00	0.00	6.91	2.24	129.00	0.00	3.28	0.07
1	24 hor 00 min	192.00	0.00	4.88	0.11	272.00	0.00	6.91	2.24	129.00	0.00	3.28	0.07
2	48 hor 00 min	192.00	0.00	4.88	0.11	272.00	0.00	6.91	2.24	129.00	0.00	3.28	0.07
4	96 hor 00 min	192.00	0.00	4.88	0.11	272.00	0.00	6.91	2.24	130.00	0.00	3.28	0.07



Ensayo de Penetración -C1														
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Piston (cm2) =		55 golpes				26 golpes				12 golpes			
	Dial (0.001")	Penetración (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %
0	0		0.00	0.00			0	0			0	0		
25	0.635		44.12	2.28			19.65	1.02			0.00	0.00		
50	1.27		208.99	10.80			111.36	5.76			50.24	2.60		
75	1.905		458.2	23.68			196.80	10.17			111.36	5.76		
70.31	100	2.54	748.22	38.67	55.00%		318.57	16.46	23.36%		196.80	10.17	14.43%	
	125	3.175	1054.3	54.49			482.44	24.93			294.24	15.21		
	150	3.81	1316.67	68.04			730.15	37.73			361.11	18.66		
105.46	200	5.08	1930.53	99.77	94.60%		1155.86	59.73	56.52%		500.61	25.87	24.48%	
	300	7.62	3171.6	163.91			1612.90	83.35			700.01	36.18		
	400	10.16	4031.81	208.36			2024.19	104.61			940.52	48.61		
	500	12.7	4823.98	249.30			2205.05	113.96			1108.10	57.27		



Correcciones	Muestra 01			Muestra 02			Muestra 03		
Carga Unitaria Patron	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%
70.31	2.54	38.67	55.00%	2.54	16.46	23.42%	2.54	10.17	14.47%
105.46	5.08	99.77	94.60%	5.08	59.73	56.64%	5.08	25.87	24.53%



Golpes	CBR		Densidad Seca	
	01"	0.2"		
55	55.00%	94.60%	2.07	gr/cm ³
26	23.42%	56.64%	2.01	gr/cm ³
11	14.47%	24.53%	1.93	gr/cm ³

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM	55.61%	91.91%
CBR al 95% DSM	17.88%	35.29%

Densidad Máxima seca(gr/cm³)	2.07
95% de la DMS (gr/cm³)	1.96

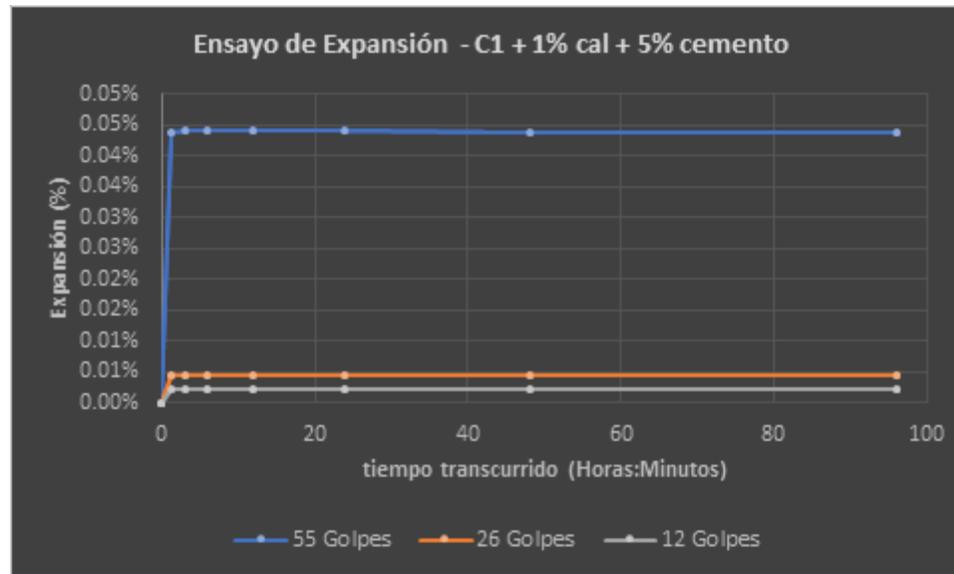


b) Calicata N°01- Suelo más 1%cal y 5% cemento

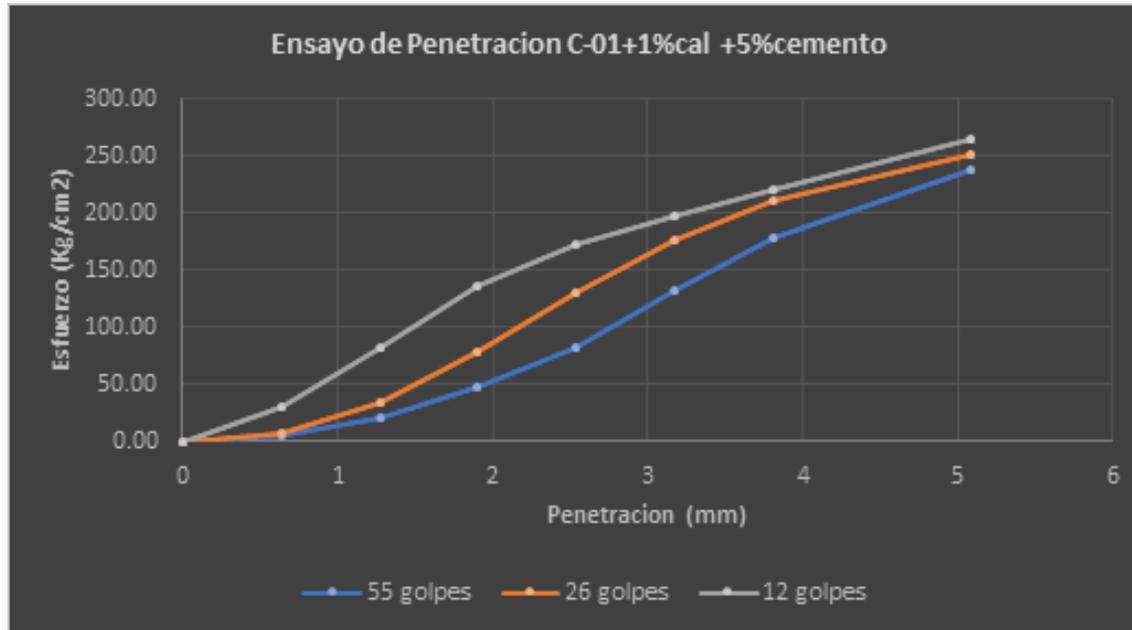
Tabla 83:

(CBR) de la Calicata 01 -Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.

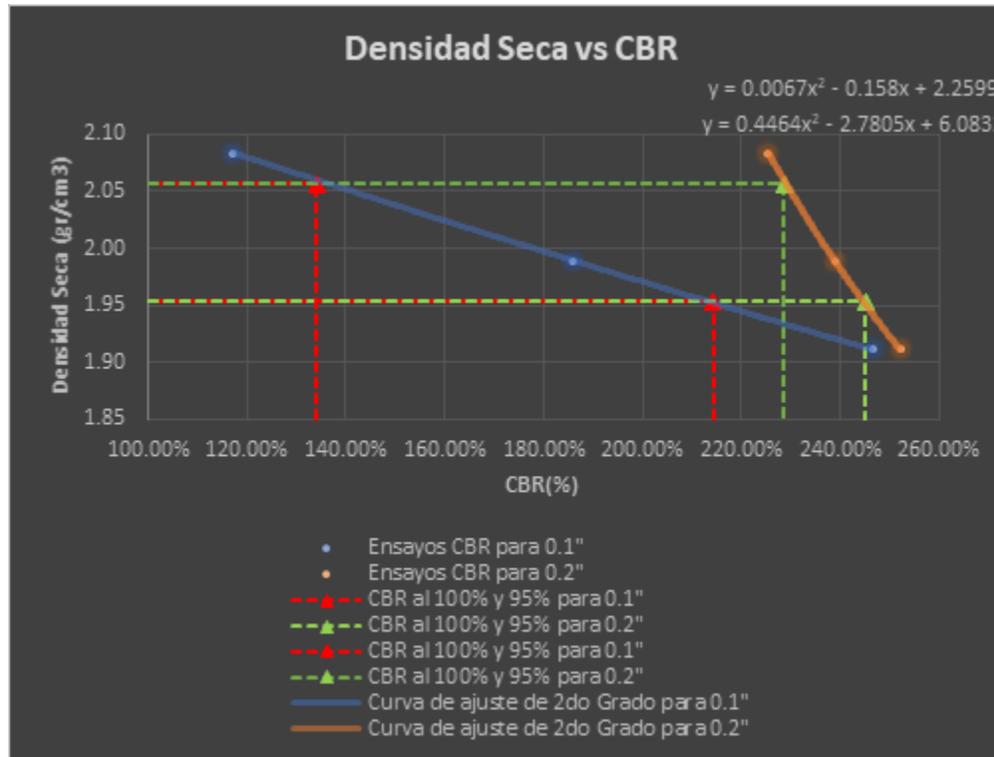
Ensayo de Expansión – C1 + 1% cal + 5% cemento													
Tiempo		55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de	Dial (0.001")	deformación		% de	Dial (0.001")	Deformación		% de
Días	HH:MM		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión
0	00 hor 00min	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	571.00	0.00	16.36	0.04%	269.00	0.00	6.86	0.00%	144.00	0.00	3.66	0.00%
0.125	3 hor 00 min	571.00	0.00	16.41	0.04%	269.00	0.00	6.91	0.00%	144.00	0.00	3.66	0.00%
0.25	6 hor 00 min	571.00	0.00	16.41	0.04%	269.00	0.00	6.91	0.00%	144.00	0.00	3.66	0.00%
0.5	12 hor 00 min	571.00	0.00	16.41	0.04%	269.00	0.00	6.91	0.00%	144.00	0.00	3.66	0.00%
1	24 hor 00 min	571.00	0.00	16.41	0.04%	270.00	0.00	6.91	0.00%	144.00	0.00	3.66	0.00%
2	48 hor 00 min	571.00	0.00	16.36	0.04%	270.00	0.00	6.86	0.00%	144.00	0.00	3.68	0.00%
4	96 hor 00 min	571.00	0.00	16.36	0.04%	270.00	0.00	6.86	0.00%	144.00	0.00	3.68	0.00%



Ensayo de Penetración (C1+1%cal + 5%Cemento)														
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Piston (cm2) =		55 golpes				26 golpes				12 golpes			
	Dial (0.001")	Penetración (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %
0	0		0.00	0.00			0	0			0	0		
25	0.635		93.04	4.81			148.00	7.65			597.40	30.87		
50	1.27		415.75	21.49			681.92	35.24			1612.90	83.35		
75	1.905		928.52	47.99			1536.07	79.38			2633.63	136.10		
70.31	100	2.54	1595.18	82.44	117.25%		2529.79	130.74	185.47%		3353.09	173.29	245.83%	
	125	3.175	2552.89	131.93			3403.99	175.92			3842.30	198.57		
	150	3.81	3454.81	178.54			4081.82	210.95			4275.66	220.96		
105.46	200	5.08	4600.15	237.73	225.43%		4872.93	251.83	238.30%		5143.66	265.82	251.54%	
	300	7.62												
	400	10.16												
	500	12.7												



Correcciones	Muestra 01			Muestra 02			Muestra 03		
Carga Unitaria Patron	Penet. Corregida	Esfu. Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%
70.31	2.54	82.44	117.25%	2.54	130.74	185.95%	2.54	173.29	246.46%
105.46	5.08	237.73	225.43%	5.08	251.83	238.79%	5.08	265.82	252.06%



Golpes	CBR		Densidad Seca	
	01"	0.2"		
55	117.25%	225.43%	2.08	gr/cm ³
26	185.95%	238.79%	1.99	gr/cm ³
11	246.46%	252.06%	1.91	gr/cm ³

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM	214.23%	228.56%
CBR al 95% DSM	134.15 %	245.00%

Densi. Máxima seca(gr/cm³)	2.06
95% de la DMS (gr/cm³)	1.95

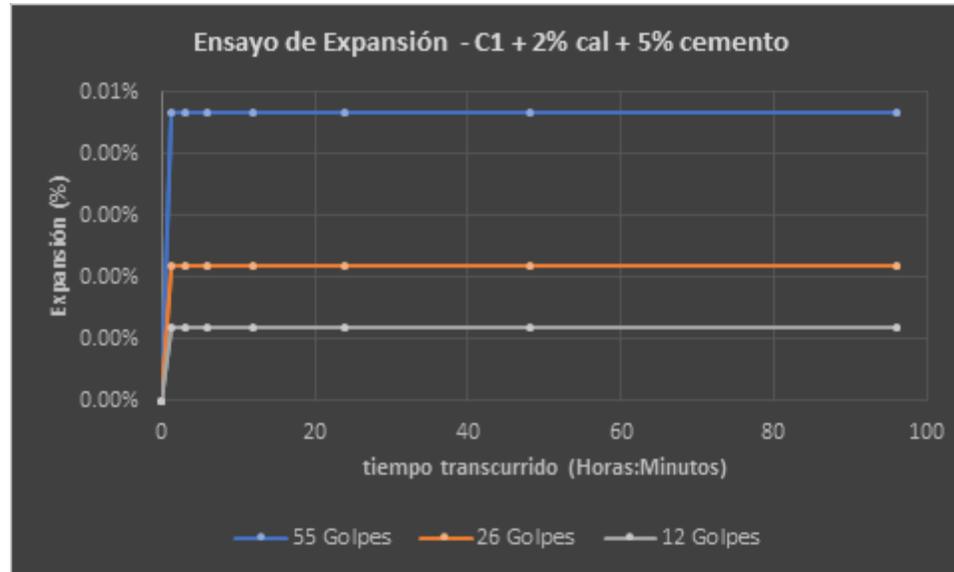


c) Calicata N°1-Suelo más 2% cal y 5% cemento

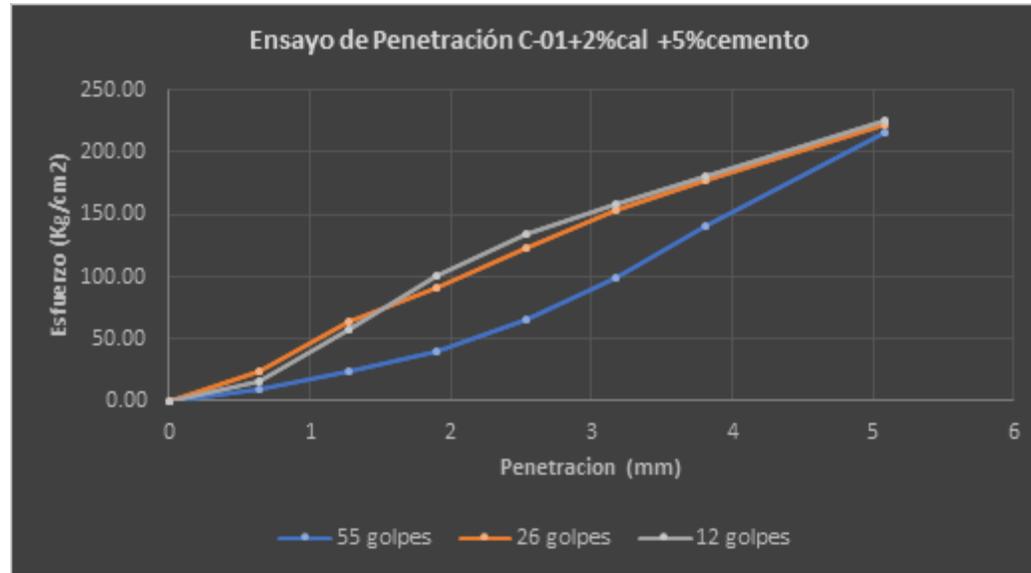
Tabla 84:

(CBR) de la Calicata 01 -Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.

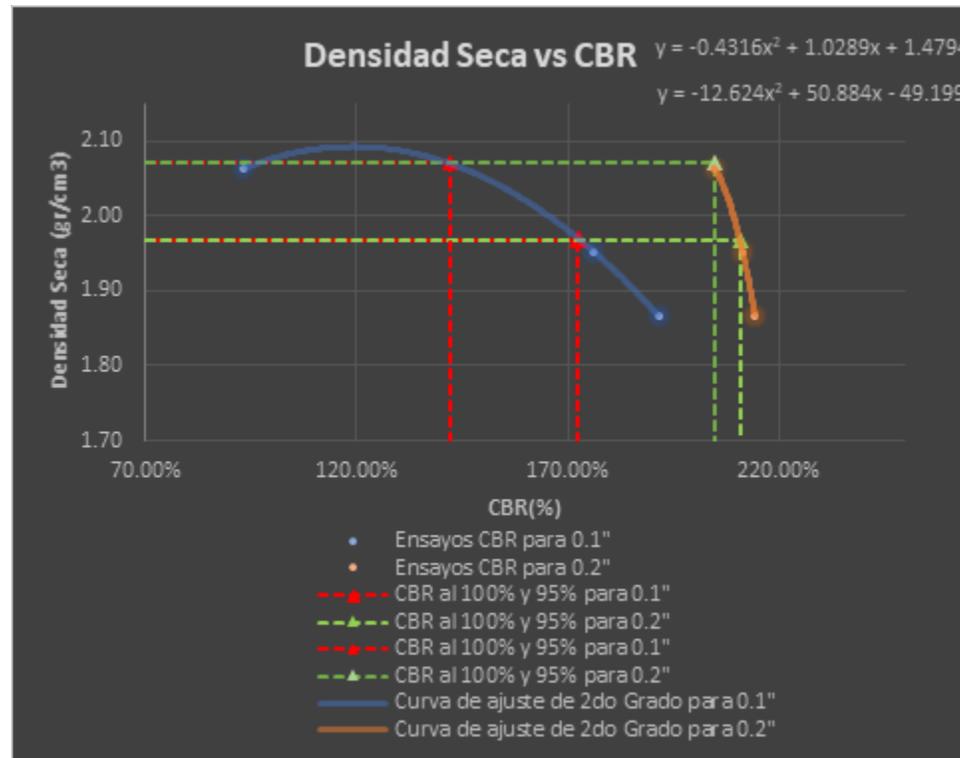
Ensayo de Expansión - C1 + 2% cal + 5% cemento													
Tiempo		55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de	Dial (0.001")	deformación		% de	Dial (0.001")	Deformación		% de
Días	HH:MM		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión
0	00 hor 00min	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	144.00	0.00	14.50	0.00%	269.00	0.00	6.83	0.00%	571.00	0.00	3.66	0.00%
0.125	3 hor 00 min	144.00	0.00	14.50	0.00%	269.00	0.00	6.83	0.00%	571.00	0.00	3.66	0.00%
0.25	6 hor 00 min	144.00	0.00	14.50	0.00%	269.00	0.00	6.83	0.00%	571.00	0.00	3.66	0.00%
0.5	12 hor 00 min	144.00	0.00	14.50	0.00%	269.00	0.00	6.83	0.00%	571.00	0.00	3.66	0.00%
1	24 hor 00 min	144.00	0.00	14.50	0.00%	270.00	0.00	6.83	0.00%	571.00	0.00	3.66	0.00%
2	48 hor 00 min	144.00	0.00	14.50	0.00%	270.00	0.00	6.86	0.00%	571.00	0.00	3.66	0.00%
4	96 hor 00 min	144.00	0.00	14.50	0.00%	270.00	0.00	6.86	0.00%	571.00	0.00	3.66	0.00%



Ensayo de Penetración (C1+2%cal + 5%Cemento)														
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Piston (cm2) =		55 golpes				26 golpes				12 golpes			
	Dial (0.001")	Penetración (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %
0	0		0.00	0.00			0	0			0.00	0		
25	0.635		190.70	9.86			452.14	23.37			312.49	16.15		
50	1.27		458.20	23.68			1245.27	64.36			1126.01	58.19		
75	1.905		766.28	39.60			1760.24	90.97			1953.96	100.98		
70.31	100	2.54	1269.08	65.59	93.28%		2396.73	123.86	175.72%		2604.81	134.62	190.97%	
125	3.175		1918.81	99.16			2966.42	153.30			3053.04	157.78		
150	3.81		2708.46	139.97			3432.23	177.38			3511.21	181.46		
105.46	200	5.08	4176.09	215.82	204.64%		4314.31	222.96	210.98%		4374.96	226.10	213.94%	
	300	7.62												
	400	10.16												
	500	12.7												



Correcciones		Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03			
Carga Unitaria Patron	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm2	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%
70.31	2.54	65.59	93.28%	2.54	123.86	176.17%	2.54	134.62	191.46%
105.46	5.08	215.82	204.64%	5.08	222.96	211.42%	5.08	226.10	214.39%



Golpes	CBR		Densidad Seca	
	01"	0.2"		
55	93.28%	204.64%	2.06	gr/cm3
26	176.17%	211.42%	1.95	gr/cm3
11	191.46%	214.39%	1.87	gr/cm3

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM	142.08%	199.36%
CBR al 95% DSM	172.49 %	192.37%

Densi. Máxima seca(gr/cm3)	2.06
95% de la DMS (gr/cm3)	1.97

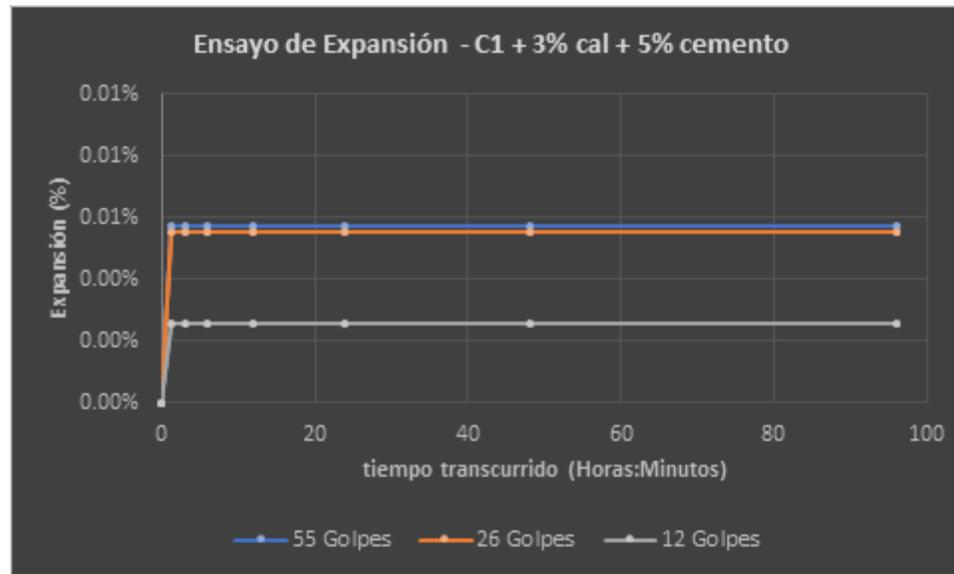


d) Calicata N°1-Suelo más 3% cal y 5% cemento

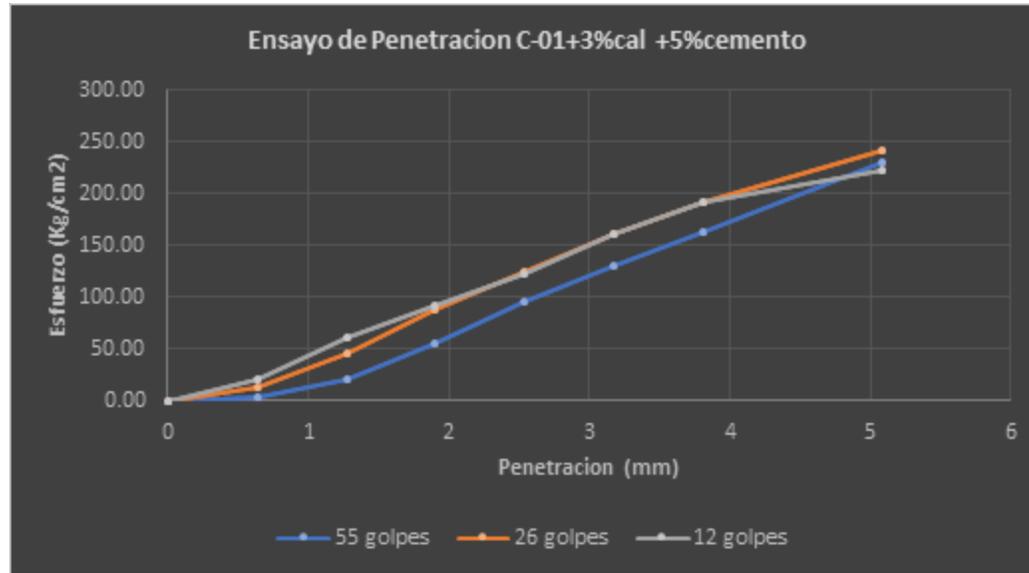
Tabla 85:

(CBR) de la Calicata 01 -Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.

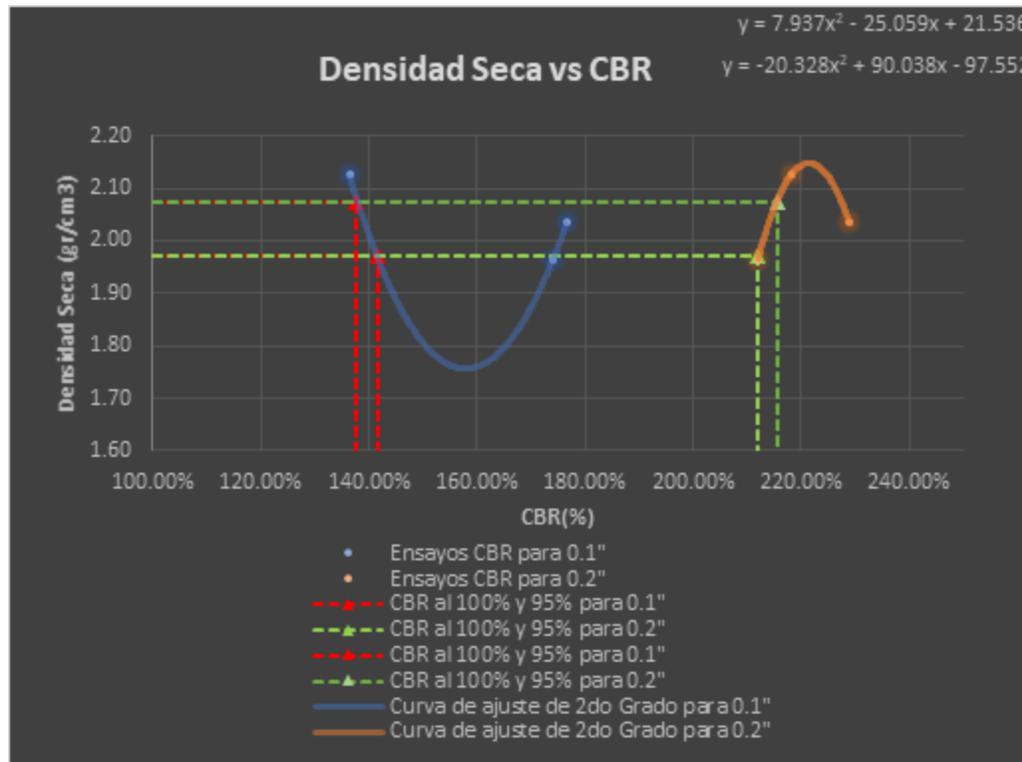
Ensayo de Expansión – C1 + 3% cal + 5% cemento													
Tiempo		55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de	Dial (0.001")	deformación		% de	Dial (0.001")	Deformación		% de
Dias	HH:MM		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión
0	00 hor 00min	0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	225	0.00023	5.72	0.006%	217	0.0002	5.51	0.006%	100	0.0001	2.54	0.003%
0.125	3 hor 00 min	225	0.00023	5.72	0.006%	217	0.0002	5.51	0.006%	100	0.0001	2.54	0.003%
0.25	6 hor 00 min	225	0.00023	5.72	0.006%	217	0.0002	5.51	0.006%	100	0.0001	2.54	0.003%
0.5	12 hor 00 min	225	0.00023	5.72	0.006%	217	0.0002	5.51	0.006%	100	0.0001	2.54	0.003%
1	24 hor 00 min	225	0.00023	5.72	0.006%	217	0.0002	5.51	0.006%	100	0.0001	2.54	0.003%
2	48 hor 00 min	225	0.00023	5.72	0.006%	217	0.0002	5.51	0.006%	100	0.0001	2.54	0.003%
4	96 hor 00 min	225	0.00023	5.72	0.006%	217	0.0002	5.51	0.006%	100	0.0001	2.54	0.003%



Ensayo de Penetración (C1+3%cal + 5%Cemento)														
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm ²)	Piston (cm ²) =		55 golpes				26 golpes				12 golpes			
	Dial (0.001")	Penetración (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm ²	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm ²	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm ²	CBR %
0	0			0.00	0.00		0	0			0	0		
25	0.635			80.81	4.18		257.72	13.32			391.47	20.23		
50	1.27			397.54	20.54		874.51	45.19			1197.61	61.89		
75	1.905			1060.28	54.79		1713.15	88.53			1795.53	92.79		
70.31	100	2.54		1854.28	95.83	136.29%	2402.52	124.16	176.14%		2367.74	122.36	173.59%	
	125	3.175		2529.79	130.74		3120.40	161.26			3126.09	161.56		
	150	3.81		3143.16	162.44		3713.57	191.92			3696.75	191.05		
105.46	200	5.08		4452.01	230.08	218.17%	4671.27	241.41	228.43%		4325.34	223.53	211.52%	
	300	7.62												
	400	10.16												
	500	12.7												



Correcciones	Muestra 01			Muestra 02			Muestra 03			
	Penetración	Esfuerzo	CBR	Penet.	Esfu.	CBR	Penet.	Esfu.	CBR	
	Corregida	Corregido	Corregido	Corregida	Corregido	Corregido	Corregida	Corregido	Corregido	
	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%	
Carga Unitaria Patrón	70.31	2.54	95.83	136.29%	2.54	124.16	176.59%	2.54	122.36	174.03%
	105.46	5.08	230.08	218.17%	5.08	241.41	228.91%	5.08	223.53	211.96%



Golpes	CBR		Densidad Seca	
	0.1"	0.2"		
55	136.29%	218.17%	2.13	gr/cm3
26	176.59%	228.91%	2.04	gr/cm3
11	174.03%	211.96%	1.96	gr/cm3

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM	137.67%	215.66%
CBR al 95% DSM	141.46 %	212.09%

Dens. Máxima seca(gr/cm3)	2.08
95% de la DMS (gr/cm3)	1.97

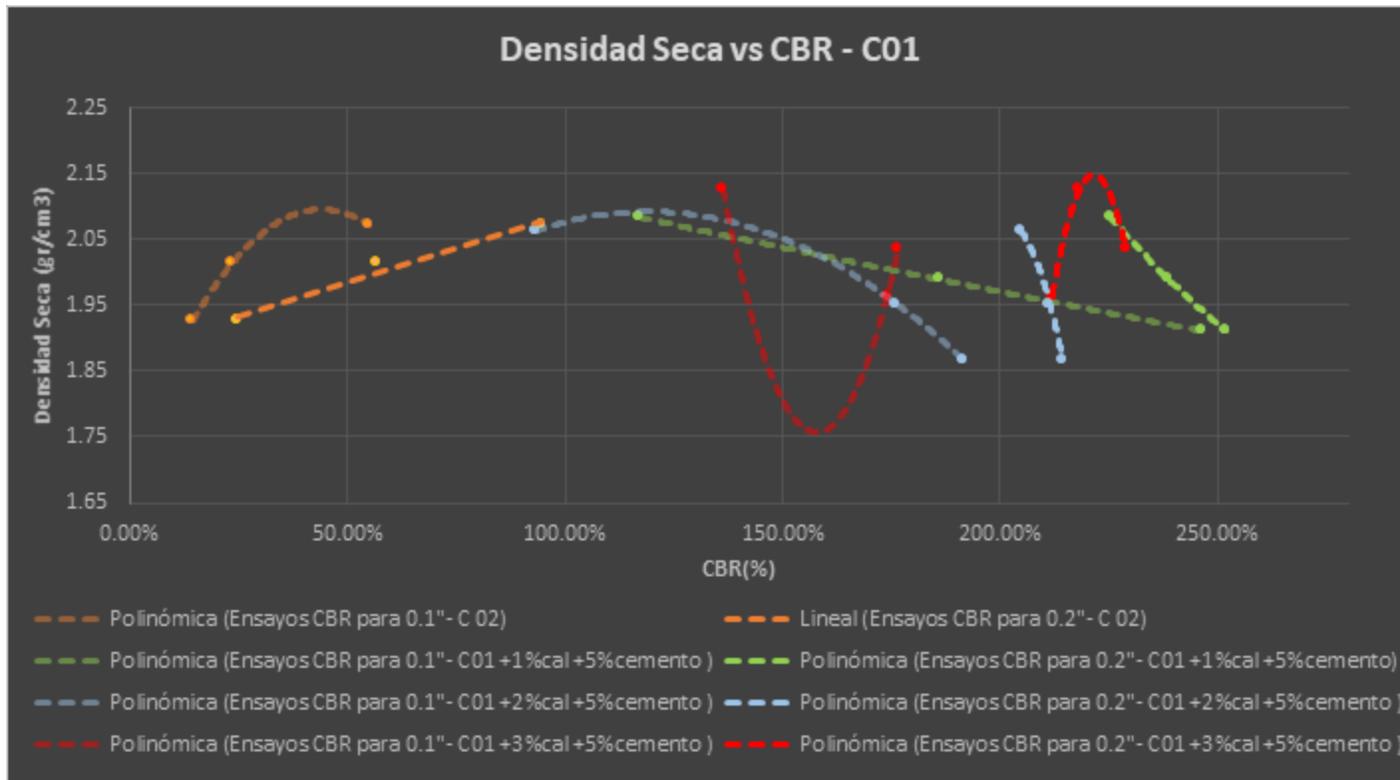


e) Calicata N°1-Suelo, más 1%cal y 5% cemento y 5% cemento, 2%cal y 5% cemento, 3 cal y 5% cemento

Tabla 86:

Comparativa de los Resultados de los Ensayos de CBR de la Calicata 01 – Suelo más Aditivos.

Calicata N° 01- Suelo Natural					Calicata N°01 - Suelo+ 1%cal y 5% cemento				
Número de Golpes	CBR		Dens. Seca Máxima		Número de Golpes	CBR		Dens. Seca Máxima	
	0.1"	0.2"				0.1"	0.2"		
55	55.00%	94.60%	2.07	gr/cm3	55	117.25%	225.43%	2.08	gr/cm3
26	23.42%	56.64%	2.01	gr/cm3	26	185.95%	238.79%	1.99	gr/cm3
11	14.47%	24.53%	1.93	gr/cm3	11	246.46%	252.06%	1.91	gr/cm3
Calicata N°01 - Suelo+ 2%cal y 5% cemento					Calicata N°01 - Suelo+ 3%cal y 5% cemento				
Número de Golpes	CBR		Dens. Seca Máxima		Número de Golpes	CBR		Dens. Seca Máxima	
	0.1"	0.2"				0.1"	0.2"		
55	93.28%	204.64%	2.06	gr/cm3	55	136.29%	218.17%	2.13	gr/cm3
26	176.17%	211.42%	1.95	gr/cm3	26	176.59%	228.91%	2.04	gr/cm3
11	191.46%	214.39%	1.87	gr/cm3	11	174.03%	211.96%	1.96	gr/cm3





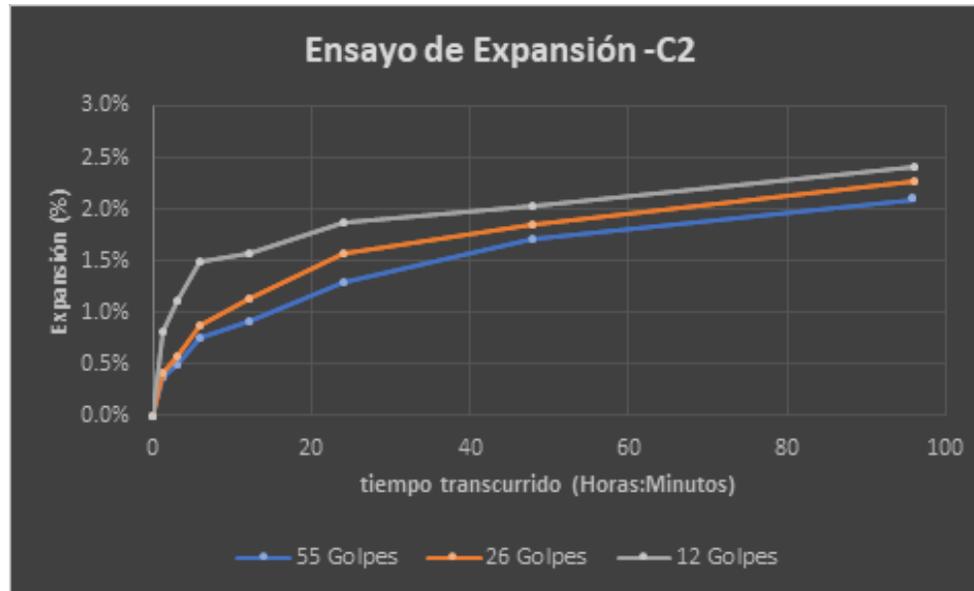
Calicata N°2

a) Calicata N° 02 – Suelo más desfavorable.

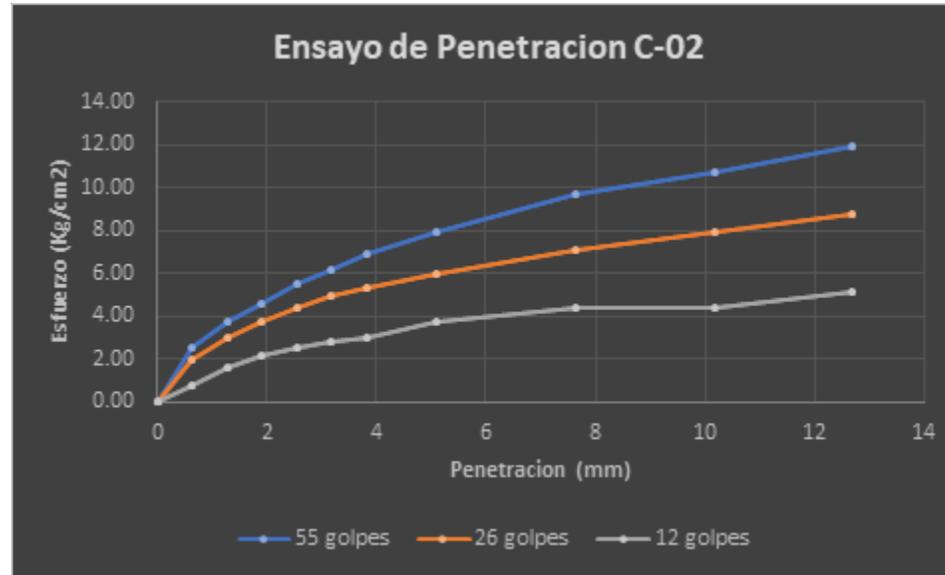
Tabla 87:

(CBR) de la Calicata 02 – Suelo más Desfavorable.

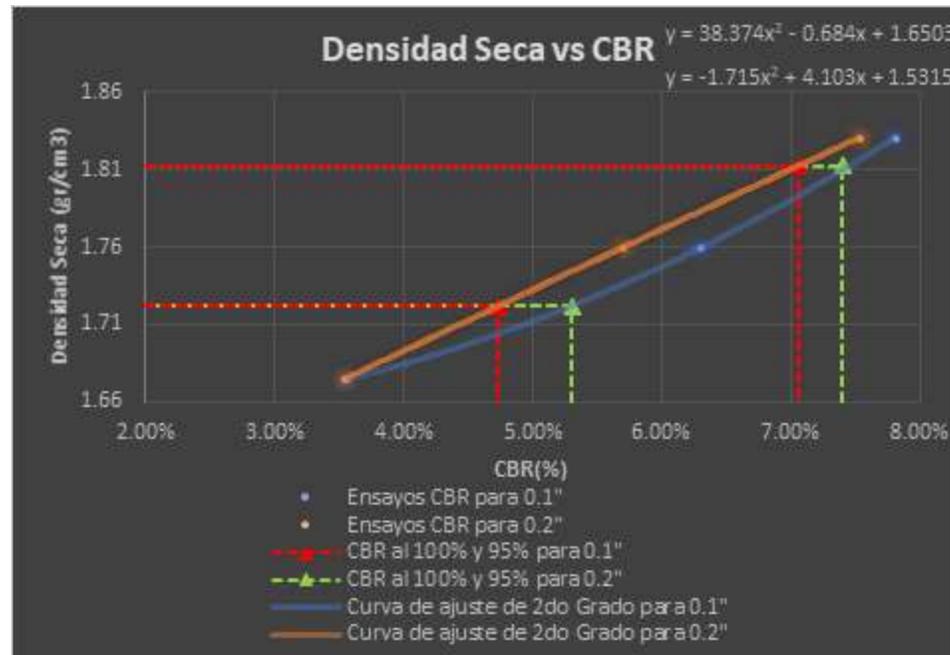
Ensayo de Expansión -C2													
Tiempo		55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
		Dial	Deformación		% de	Dial	deformación		% de	Dial	Deformación		% de
Dias	HH:MM	(0.001'')	Pulg	mm	Expansión	(0.001'')	Pulg	mm	Expansión	(0.001'')	Pulg	mm	Expansión
0	00 hor 00min	0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	17	0.017	0.43	0.37%	19	0.019	0.48	0.42%	37	0.037	0.94	0.81%
0.125	3 hor 00 min	23	0.023	0.59	0.50%	26	0.026	0.66	0.57%	51	0.051	1.30	1.11%
0.25	6 hor 00 min	35	0.035	0.89	0.76%	40	0.04	1.02	0.87%	68	0.068	1.73	1.49%
0.5	12 hor 00 min	42	0.042	1.07	0.92%	52	0.052	1.32	1.14%	72	0.072	1.83	1.57%
1	24 hor 00 min	59	0.059	1.50	1.29%	72	0.072	1.83	1.57%	86	0.086	2.19	1.88%
2	48 hor 00 min	78	0.078	1.98	1.70%	85	0.085	2.16	1.86%	93	0.093	2.37	2.03%
4	96 hor 00 min	96	0.096	2.44	2.10%	104	0.104	2.65	2.27%	110	0.11	2.80	2.40%



Ensayo de Penetración -C2														
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Piston (cm2) =		55 golpes				26 golpes				12 golpes			
	Dial (0.001")	Penetración (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %
0	0	0	0	0.00	0.00		0	0	0		0	0	0	
25	0.635	15	15	48.52	2.51		12	38.32	1.98		5	14.54	0.75	
50	1.27	22	22	72.29	3.74		18	58.70	3.03		10	31.53	1.63	
75	1.905	27	27	89.26	4.61		22	72.29	3.74		13	41.72	2.16	
70.31	100	2.54	32	106.23	5.49	7.81%	26	85.87	4.44	6.30%	15	48.52	2.51	3.56%
125	3.175	36	36	119.80	6.19		29	96.05	4.96		17	55.31	2.86	
150	3.81	40	40	133.37	6.89		31	102.83	5.31		18	58.70	3.03	
105.46	200	5.08	46	153.71	7.94	7.53%	35	116.41	6.02	5.69%	22	72.29	3.74	3.53%
300	7.62	56	56	187.60	9.70		41	136.76	7.07		26	85.87	4.44	
400	10.16	62	62	207.92	10.75		46	153.71	7.94		26	85.87	4.44	
500	12.7	69	69	231.63	11.97		51	170.66	8.82		30	99.44	5.14	



Correcciones	Muestra 01			Muestra 02			Muestra 03		
Carga Unitaria Patron	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penet. Corregida	Esfu. Corregido	CBR Corregido	Penet. Corregida	Esfu. Corregido	CBR Corregido
Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%
70.31	2.54	5.49	7.81%	2.54	4.44	6.31%	2.54	2.51	3.57%
105.46	5.08	7.94	7.53%	5.08	6.02	5.70%	5.08	3.74	3.54%



Golpes	CBR		Densidad Seca	
	01"	0.2"		
55	7.81%	7.53%	1.83	gr/cm3
26	6.31%	5.70%	1.76	gr/cm3
11	3.57%	3.54%	1.67	gr/cm3

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM	7.40%	7.06%
CBR al 95% DSM	5.30 %	4.74%

Dens. Máxima seca(gr/cm3)	1.8
95% de la DMS (gr/cm3)	1.72

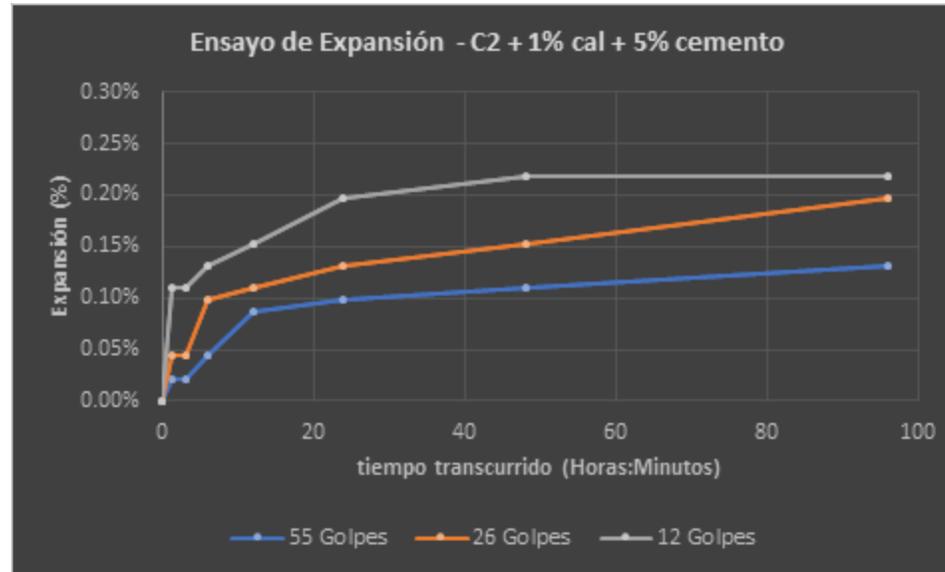
b) Calicata N°02- Suelo más desfavorable más 1% cal y 5% cemento



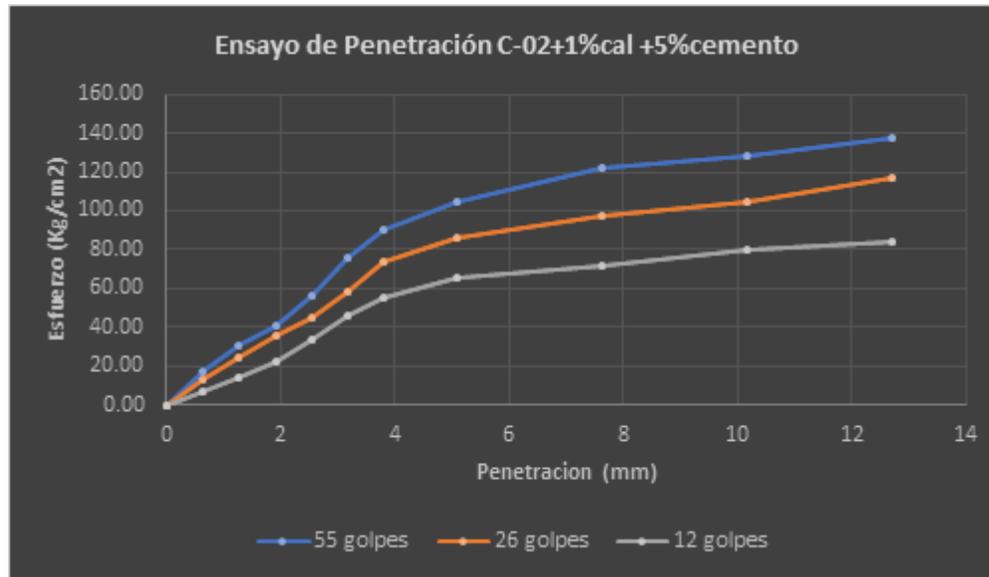
Tabla 88:

(CBR) de la Calicata 02 -Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.

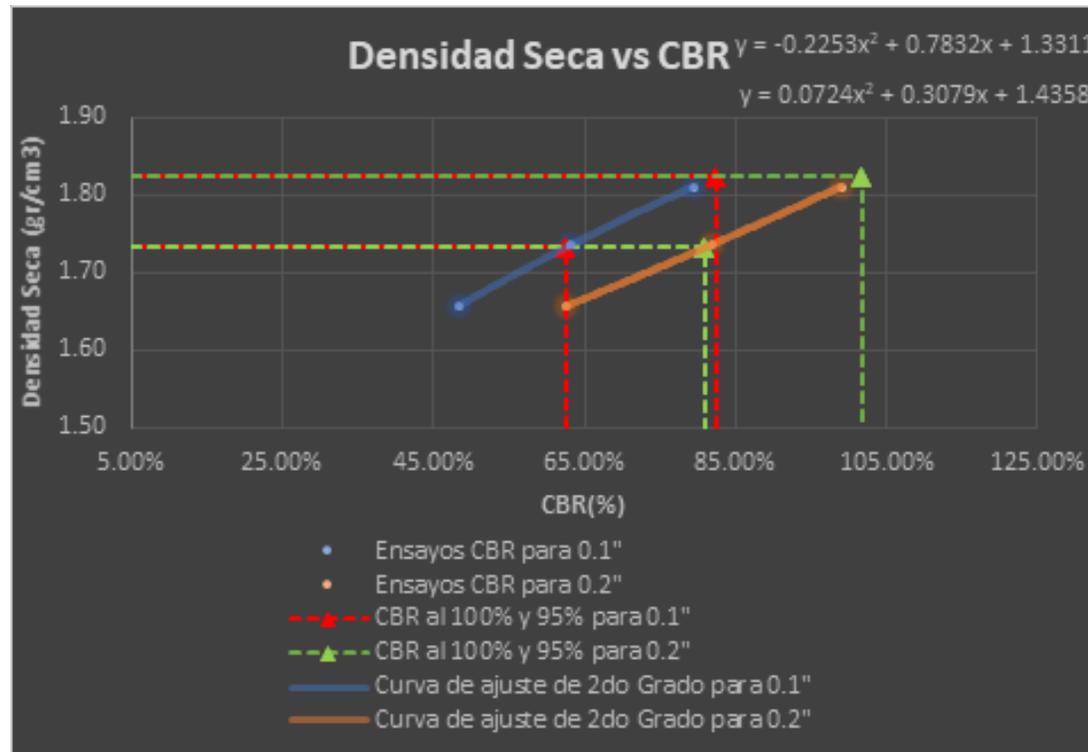
Ensayo de Expansión - C2 + 1% cal + 5% cemento													
Tiempo		55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de	Dial (0.001")	deformación		% de	Dial (0.001")	Deformación		% de
Dias	HH:MM		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión
0	00 hor 00min	0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	1	0.001	0.03	0.02%	2	0.002	0.05	0.04%	5	0.005	0.13	0.11%
0.125	3 hor 00 min	1	0.001	0.03	0.02%	2	0.002	0.05	0.04%	5	0.005	0.13	0.11%
0.25	6 hor 00 min	2	0.002	0.05	0.04%	4.5	0.0045	0.11	0.10%	6	0.006	0.15	0.13%
0.5	12 hor 00 min	4.5	0.004	0.10	0.09%	5	0.005	0.13	0.11%	7	0.007	0.18	0.15%
1	24 hor 00 min	5	0.0045	0.12	0.10%	6	0.006	0.15	0.13%	9	0.009	0.23	0.20%
2	48 hor 00 min	5	0.005	0.13	0.11%	7	0.007	0.18	0.15%	10	0.01	0.25	0.22%
4	96 hor 00 min	6	0.006	0.15	0.13%	9	0.009	0.23	0.20%	10	0.01	0.25	0.22%



Ensayo de Penetración (C2+1%cal + 5%Cemento)															
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Piston (cm2) =		55 golpes				26 golpes				12 golpes				
	Dial (0.001")	Penetración (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	
0	0		0.00	0.00			0	0	0		0	0	0		
25	0.635	100	336.47	17.39			75	251.93	13.02		40	133.37	6.89		
50	1.27	175	589.37	30.46			139	468.11	24.19		78	262.08	13.54		
75	1.905	236	794.31	41.05			205	690.24	35.67		130	437.76	22.62		
70.31	100	2.54	322	1082.23	55.93	79.55%	256	861.37	44.52	63.15%	195	656.63	33.93	48.14%	
125	3.175	435	1458.99	75.40			334	1122.32	58.00		265	891.53	46.07		
150	3.81	522	1748.07	90.34			422	1415.73	73.16		320	1075.55	55.58		
105.46	200	5.08	604	2019.90	104.39	98.98%	499	1671.72	86.39	81.75%	380	1275.82	65.93	62.39%	
300	7.62	707	2360.70	122.00			564	1887.37	97.54		413	1385.77	71.62		
400	10.16	744	2482.99	128.32			604	2019.90	104.39		460	1542.14	79.70		
500	12.7	798	2661.40	137.54			680	2271.42	117.39		485	1625.22	83.99		



Correcciones		Muestra 01		Muestra 02			Muestra 03		
Carga Unitaria Patron	Penet. Corregida	Esfu. Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm2	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%
70.31	2.54	55.93	79.55%	2.54	44.52	63.31%	2.54	33.93	48.26%
105.46	5.08	104.39	98.98%	5.08	86.39	81.92%	5.08	65.93	62.52%



Golpes	CBR		Densidad Seca	
	01"	0.2"		
55	79.55%	98.98%	1.81	gr/cm ³
26	63.31%	81.92%	1.74	gr/cm ³
11	48.26%	62.52%	1.66	gr/cm ³

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM	82.45%	101.67%
CBR al 95% DSM	62.48 %	80.95%

Dens. Máxima seca(gr/cm³)	1.82
95% de la DMS (gr/cm³)	1.73

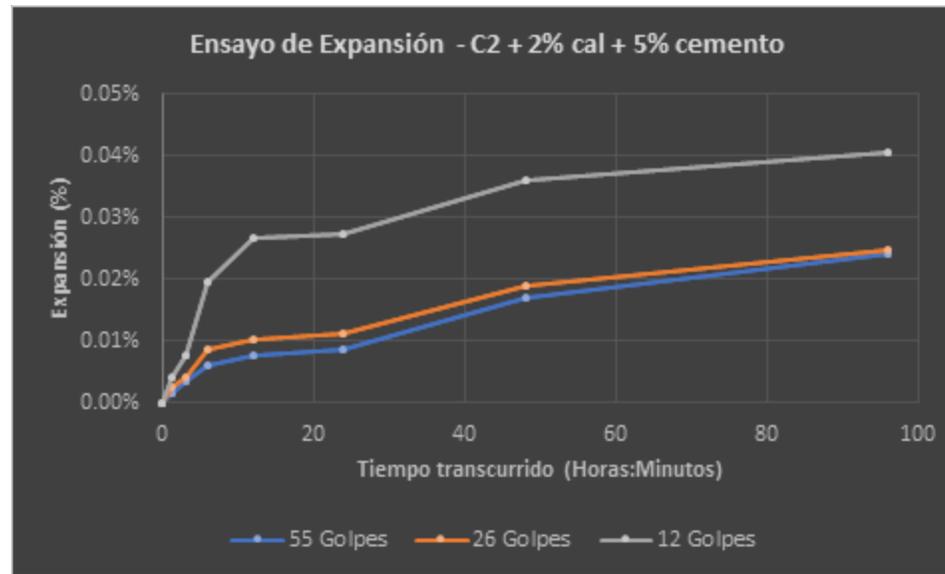


c) Calicata N°2-Suelo más 2% cal y 5% cemento

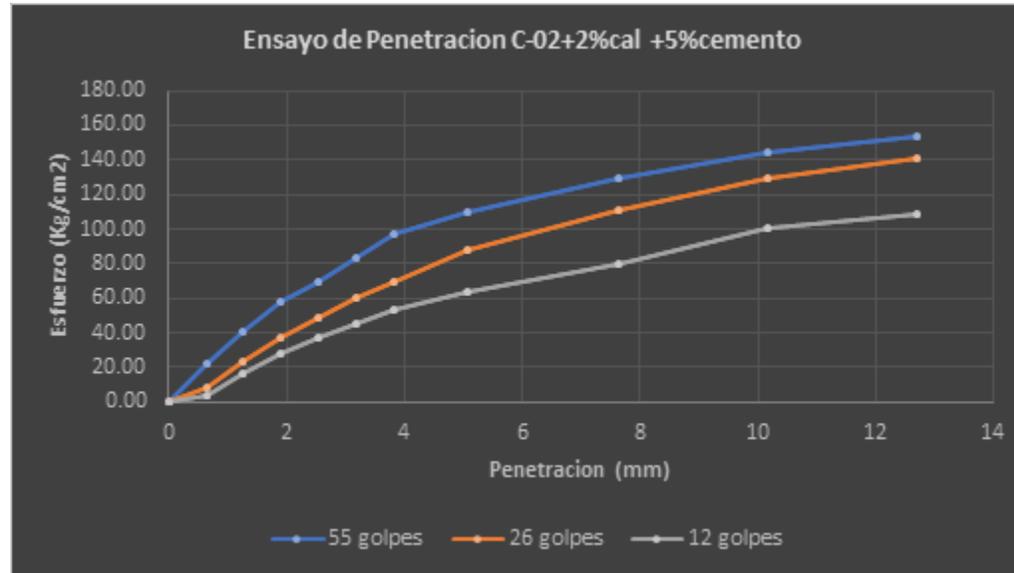
Tabla 89:

(CBR) de la Calicata 02 -Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.

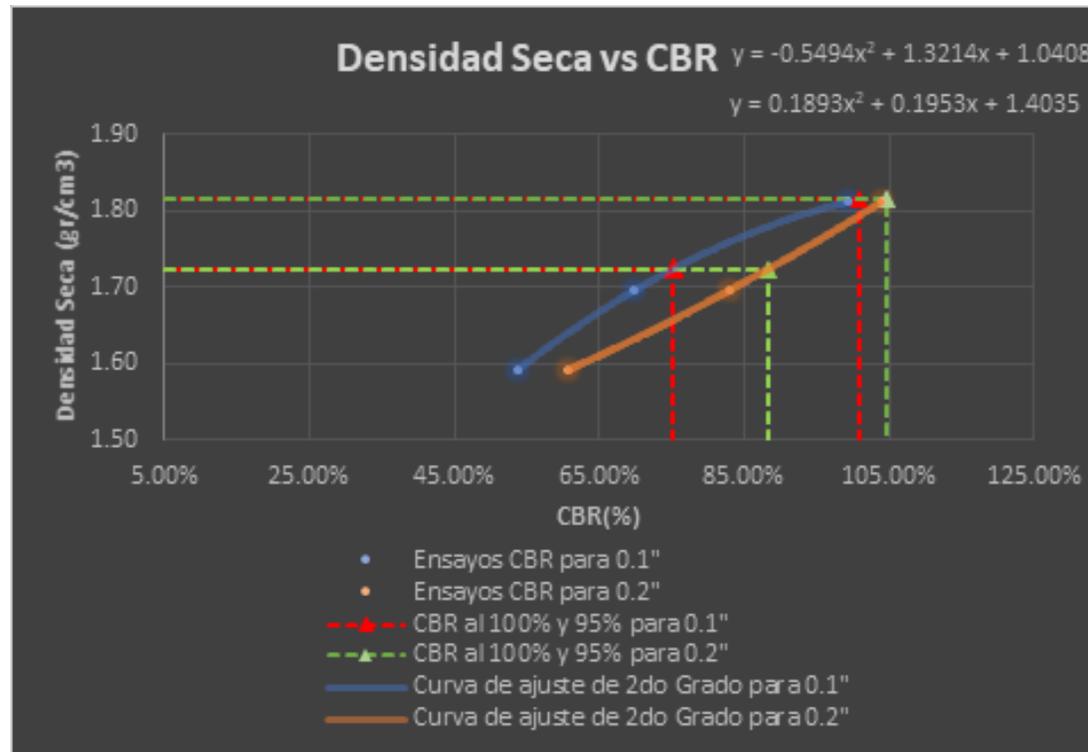
Ensayo de Expansión - C2 + 2% cal + 5% cemento													
Tiempo		55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de	Dial (0.001")	Deformación		% de	Dial (0.001")	Deformación		% de
Días	HH:MM		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión
0	00 hor 00min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	0.1	0.00008	0.002	0.00%	0.1	0.0001	0.00	0.00%	0.2	0.0002	0.01	0.00%
0.125	3 hor 00 min	0.2	0.00016	0.004	0.00%	0.2	0.0002	0.01	0.00%	0.4	0.0004	0.01	0.01%
0.25	6 hor 00 min	0.3	0.00028	0.007	0.01%	0.4	0.0004	0.01	0.01%	0.9	0.0009	0.02	0.02%
0.5	12 hor 00 min	0.4	0.00036	0.009	0.01%	0.5	0.0005	0.01	0.01%	1.2	0.0012	0.03	0.03%
1	24 hor 00 min	0.4	0.0004	0.010	0.01%	0.5	0.0005	0.01	0.01%	1.3	0.0013	0.03	0.03%
2	48 hor 00 min	0.8	0.0008	0.020	0.02%	0.9	0.0009	0.02	0.02%	1.7	0.0017	0.04	0.04%
4	96 hor 00 min	1.1	0.00112	0.028	0.02%	1.2	0.0012	0.03	0.02%	1.9	0.0019	0.05	0.04%



Ensayo de Penetración (C2+2%cal + 5%Cemento)														
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Piston (cm2) =		55 golpes				26 golpes				12 golpes			
	Dial (0.001")	Penetración (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %
0	0		0	0			0	0			0	0		
25	0.635		125	420.89	21.75		46	153.71	7.94		23	75.68	3.91	
50	1.27		234	787.60	40.70		132	444.50	22.97		94	316.19	16.34	
75	1.905		331	1112.30	57.48		213	717.11	37.06		163	548.97	28.37	
70.31	100	2.54	403	1352.46	69.89	99.41%	283	951.80	49.19	69.78%	217	730.54	37.75	53.56%
125	3.175		484	1621.90	83.82		344	1155.71	59.73		263	884.83	45.73	
150	3.81		562	1880.74	97.20		400	1342.47	69.38		304	1022.06	52.82	
105.46	200	5.08	635	2122.54	109.69	104.01%	506	1694.96	87.59	82.89%	369	1239.14	64.04	60.60%
300	7.62		750	2502.82	129.34		639	2135.77	110.38		462	1548.79	80.04	
400	10.16		835	2783.60	143.86		749	2499.52	129.17		579	1937.08	100.11	
500	12.7		891	2968.53	153.41		820	2734.06	141.30		632	2112.61	109.18	



Correcciones		Muestra 01		Muestra 02			Muestra 03		
Carga Unitaria Patrón	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penet. Corregida	Esfu. Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%
70.31	2.54	69.89	99.41%	2.54	49.19	69.96%	2.54	37.75	53.70%
105.46	5.08	109.69	104.01%	5.08	87.59	83.06%	5.08	64.04	60.72%



Golpes	CBR		Densidad Seca	
	01"	0.2"		
55	99.41%	104.01%	1.81	gr/cm3
26	69.96%	83.06%	1.70	gr/cm3
11	53.70%	60.72%	1.59	gr/cm3

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM	101.06%	104.63%
CBR al 95% DSM	75.30%	88.44%

Dens. Máxima seca(gr/cm3)	1.82
95% de la DMS (gr/cm3)	1.72

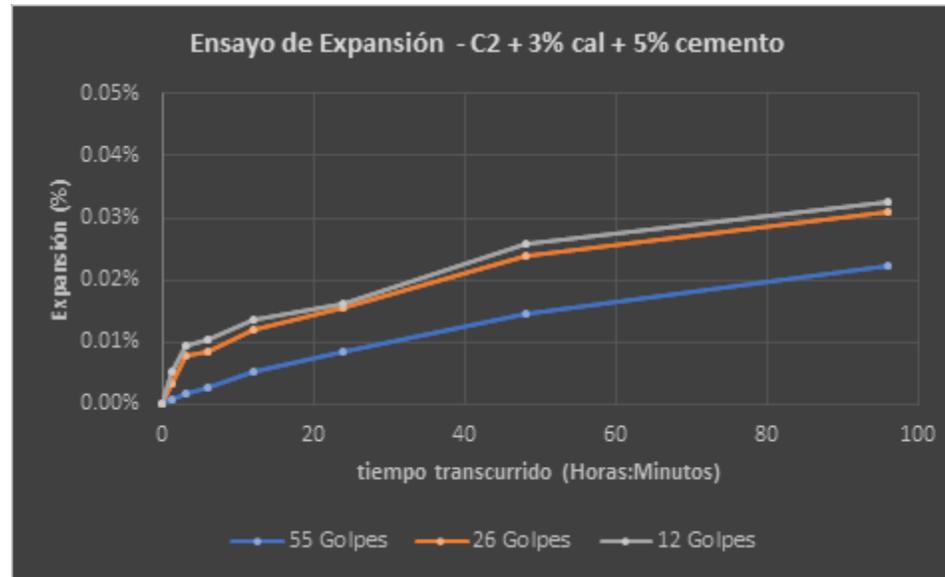


d) Calicata N°2-Suelo más desfavorable más 3%cal y 5% cemento

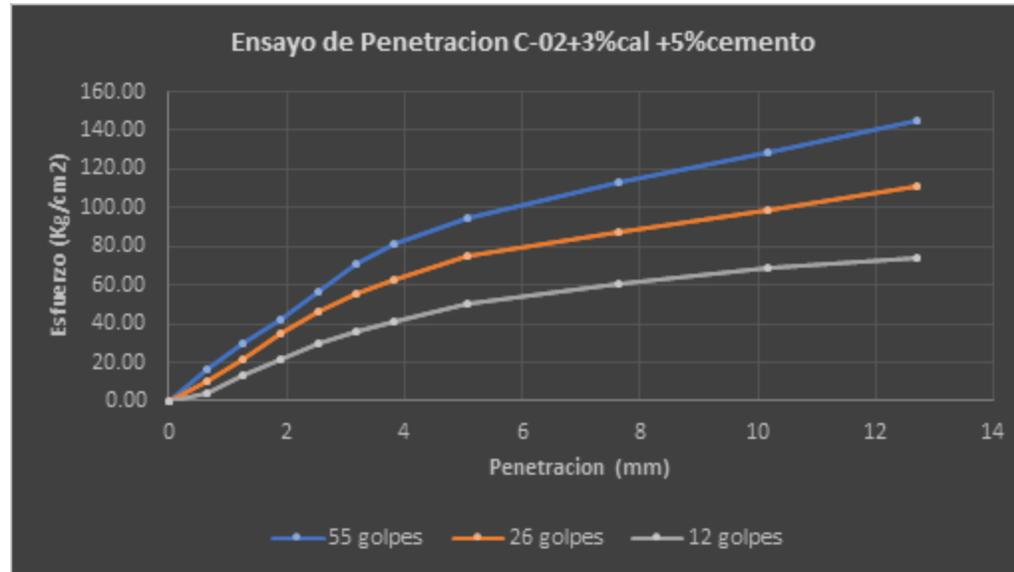
Tabla 90:

(CBR) de la Calicata 02 -Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.

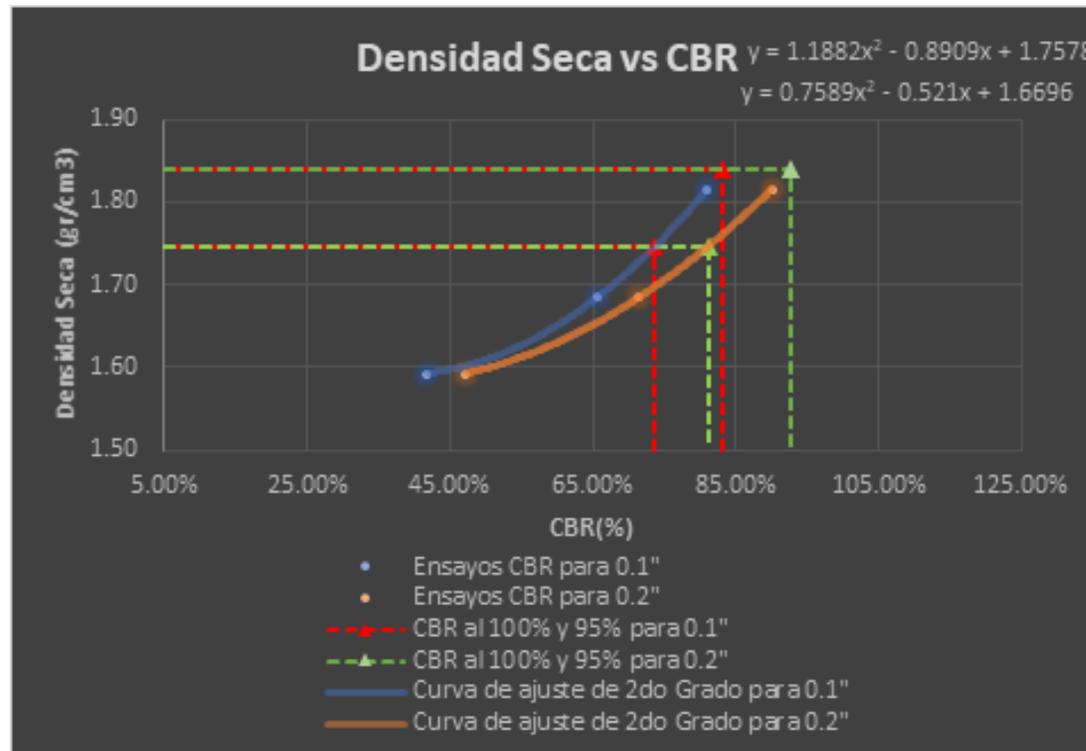
Ensayo de Expansión - C2 + 3% cal + 5% cemento													
Tiempo		55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de	Dial (0.001")	deformación		% de	Dial (0.001")	Deformación		% de
Dias	HH:MM		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión
0	00 hor 00min	0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	0.04	0.00004	0.001	0.001%	0.16	0.0002	0.004	0.003%	0.24	0.0002	0.006	0.005%
0.125	3 hor 00 min	0.08	0.00008	0.002	0.002%	0.36	0.0004	0.009	0.008%	0.44	0.0004	0.011	0.009%
0.25	6 hor 00 min	0.12	0.00012	0.003	0.003%	0.4	0.0004	0.010	0.009%	0.48	0.0005	0.012	0.010%
0.5	12 hor 00 min	0.24	0.00024	0.006	0.005%	0.56	0.0006	0.014	0.012%	0.64	0.0006	0.016	0.014%
1	24 hor 00 min	0.4	0.0004	0.010	0.009%	0.72	0.0007	0.018	0.015%	0.76	0.0008	0.019	0.016%
2	48 hor 00 min	0.68	0.00068	0.017	0.015%	1.12	0.0011	0.028	0.024%	1.2	0.0012	0.030	0.026%
4	96 hor 00 min	1.04	0.00104	0.026	0.022%	1.44	0.0014	0.036	0.031%	1.52	0.0015	0.038	0.033%



Ensayo de Penetración (C2+3%cal + 5%Cemento)														
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Piston (cm2) =		55 golpes				26 golpes				12 golpes			
	Dial (0.001")	Penetración (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %
0	0		0.00	0.00		0	0	0		0	0	0		
25	0.635		95	319.57	16.52		57	190.99	9.87		23	75.68	3.91	
50	1.27		169	569.17	29.41		125	420.89	21.75		75	251.93	13.02	
75	1.905		245	824.49	42.61		198	666.71	34.46		126	424.26	21.93	
70.31	100	2.54	328	1102.28	56.97	81.02%	265	891.53	46.07	65.36%	169	569.17	29.41	41.73%
125	3.175		410	1375.78	71.10		321	1078.89	55.76		209	703.67	36.37	
150	3.81		469	1572.06	81.24		364	1222.46	63.18		237	797.66	41.22	
105.46	200	5.08	549	1837.63	94.97	90.05%	434	1455.67	75.23	71.18%	287	965.19	49.88	47.20%
300	7.62		655	2188.72	113.11		508	1701.60	87.94		348	1169.07	60.42	
400	10.16		744	2482.99	128.32		574	1920.51	99.25		397	1332.47	68.86	
500	12.7		844	2813.32	145.39		642	2145.70	110.89		429	1439.03	74.37	



Correcciones	Muestra 01			Muestra 02			Muestra 03		
	Penetración	Esfu.	CBR	Penet.	Esfu.	CBR	Penet.	Esfu.	CBR
	Corregida	Corregido	Corregido	Corregida	Corregido	Corregido	Corregida	Corregido	Corregido
Patrón	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%
70.31	2.54	56.97	81.02%	2.54	46.07	65.53%	2.54	29.41	41.84%
105.46	5.08	94.97	90.05%	5.08	75.23	71.33%	5.08	49.88	47.30%



Golpes	CBR		Densidad Seca	
	01"	0.2"		
55	81.02%	90.05%	1.82	gr/cm3
26	65.53%	71.33%	1.68	gr/cm3
11	41.84%	47.30%	1.59	gr/cm3

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM	83.12%	92.65%
CBR al 95% DSM	73.67%	81.13%

Dens. Máxima seca(gr/cm3)	1.82
95% de la DMS (gr/cm3)	1.75

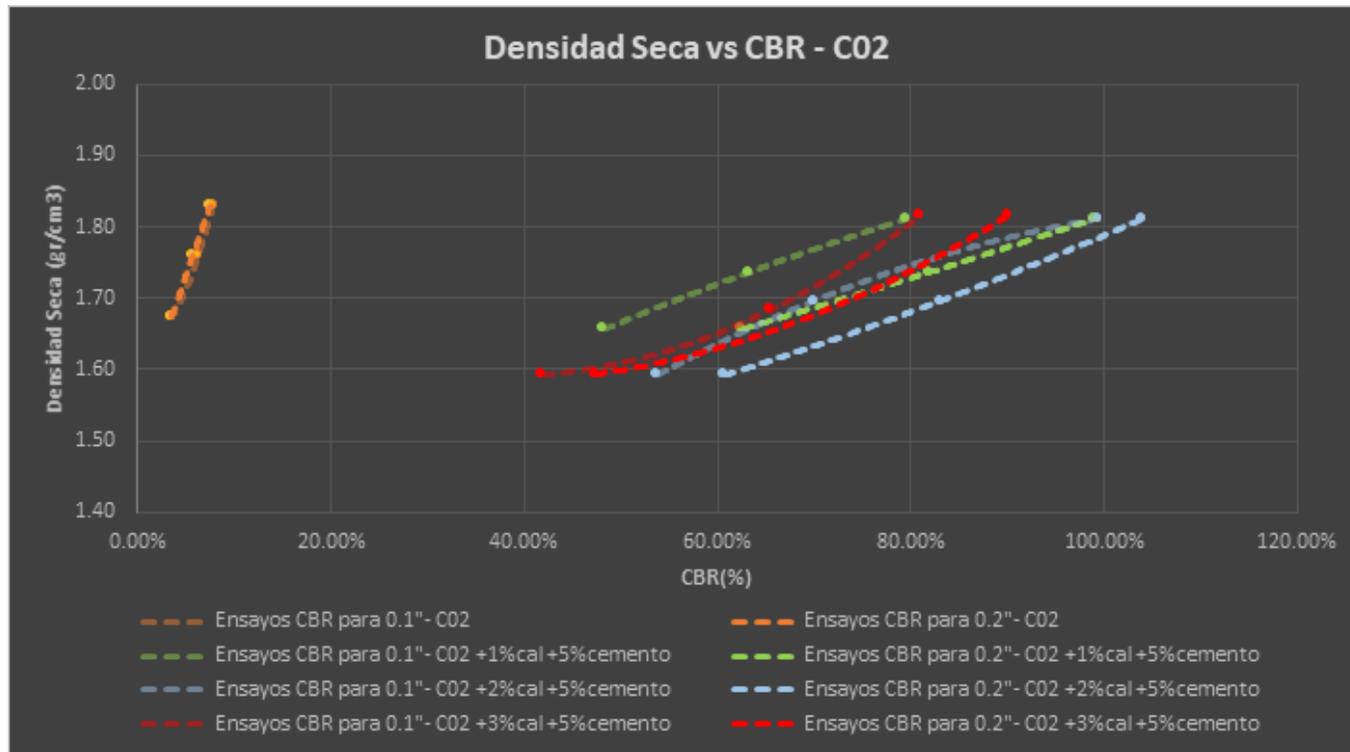


e) Calicata N°2-Suelo más desfavorable, más 1%cal y 5% cemento y 5% cemento, 2%cal y 5% cemento, 3 cal y 5% cemento

Tabla 91:

Comparativa de los Resultados de los Ensayos de CBR de la Calicata 02 – Suelo más Desfavorable más Aditivos.

Calicata N° 02- Suelo más desfavorable					Calicata N°02 - Suelo+ 1%cal y 5% cemento				
Número de Golpes	CBR		Dens. Seca Máxima		Número de Golpes	CBR		Dens. Seca Máxima	
	0.1"	0.2"				0.1"	0.2"		
55	7.81%	7.53%	1.83	gr/cm3	55	79.55%	98.98%	1.81	gr/cm3
26	6.31%	5.70%	1.76	gr/cm3	26	63.31%	81.92%	1.74	gr/cm3
11	3.57%	3.54%	1.67	gr/cm3	11	48.26%	62.52%	1.66	gr/cm3
Calicata N°02 - Suelo+ 2%cal y 5% cemento					Calicata N°02 - Suelo+ 3%cal y 5% cemento				
Número de Golpes	CBR		Dens. Seca Máxima		Número de Golpes	CBR		Dens. Seca Máxima	
	0.1"	0.2"				0.1"	0.2"		
55	99.41%	104.01%	1.81	gr/cm3	55	81.02%	90.05%	1.82	gr/cm3
26	69.96%	83.06%	1.70	gr/cm3	26	65.53%	71.33%	1.68	gr/cm3
11	53.70%	60.72%	1.59	gr/cm3	11	41.84%	47.30%	1.59	gr/cm3





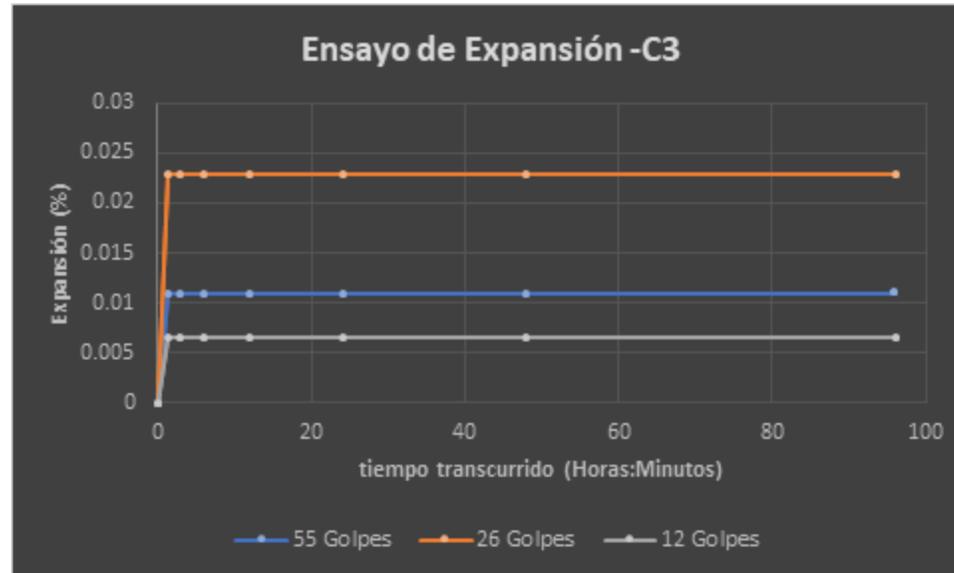
Calicata N°3

a) Calicata N° 03 – Suelo natural

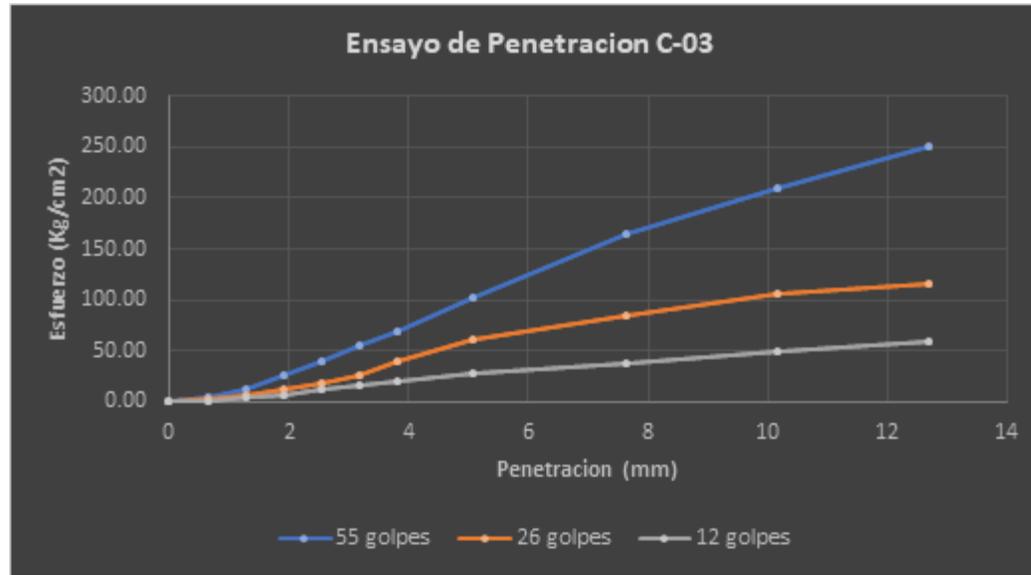
Tabla 92:

(CBR) de la Calicata 03.

Ensayo de Expansión -C3													
Tiempo		55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
		Dial	Deformación		% de	Dial	deformación		% de	Dial	Deformación		% de
Dias	HH:MM	(0.001'')	Pulg	mm	Expansión	(0.001'')	Pulg	mm	Expansión	(0.001'')	Pulg	mm	Expansión
0	00 hor 00min	0	0	5.01	0.000%	0	0	4.55	0%	0	0	3.20	0%
0.0625	1 hor 30 min	191	0.191	5.14	1.149%	276	0.0003	7.17	2.38%	130	0.0001	3.54	0.702%
0.125	3 hor 00 min	196	0.0002	5.14	1.149%	276	0.0003	7.17	2.38%	133	0.0001	3.54	0.702%
0.25	6 hor 00 min	196	0.0002	5.14	1.149%	276	0.0003	7.17	2.38%	133	0.0001	3.54	0.702%
0.5	12 hor 00 min	196	0.0002	5.14	1.149%	276	0.0003	7.17	2.38%	133	0.0001	3.54	0.702%
1	24 hor 00 min	196	0.0002	5.14	1.149%	276	0.0003	7.17	2.38%	133	0.0001	3.54	0.702%
2	48 hor 00 min	196	0.0002	5.14	1.149%	276	0.0003	7.17	2.38%	133	0.0001	3.54	0.702%
4	96 hor 00 min	196	0.0002	5.14	1.149%	276	0.0003	7.17	2.38%	130	0.0001	3.54	0.702%



Ensayo de Penetración -C3																
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Piston (cm2) =		55 golpes				26 golpes				12 golpes					
	Dial (0.001")	Penetración (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %		
0	0		0.00	0.00			0	0			0	0				
25	0.635		76.12	3.93			51.65	2.67			32.00	1.65				
50	1.27		240.99	12.45			143.36	7.41			82.24	4.25				
75	1.905		490.2	25.33			228.80	11.82			143.36	7.41				
70.31	100	2.54	780.22	40.32	57.35%		350.57	18.12	25.70%		228.80	11.82	16.77%			
125	3.175		1086.3	56.14			514.44	26.59			326.24	16.86				
150	3.81		1348.67	69.70			762.15	39.39			393.11	20.32				
105.46	200	5.08	1962.53	101.42	96.17%		1187.86	61.39	58.09%		532.61	27.53	26.05%			
300	7.62		3203.6	165.56			1644.90	85.01			732.01	37.83				
400	10.16		4063.81	210.02			2056.19	106.26			972.52	50.26				
500	12.7		4855.98	250.96			2237.05	115.61			1140.10	58.92				



Correcciones	Muestra 01			Muestra 02			Muestra 03		
Carga Unitaria Patron	Penet.	Esfu.	CBR	Penetración	Esfuerzo	CBR	Penetración	Esfuerzo	CBR
	Corregida	Corregido	Corregido	Corregida	Corregido	Corregido	Corregida	Corregido	Corregido
Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%
70.31	2.54	40.32	57.35%	2.54	18.12	25.77%	2.54	11.82	16.82%
105.46	5.08	101.42	96.17%	5.08	61.39	58.21%	5.08	27.53	26.10%



Golpes	CBR		Densidad Seca	
	01"	0.2"		
55	57.35%	96.17%	2.14	gr/cm3
26	25.77%	58.21%	2.08	gr/cm3
11	16.82%	26.10%	1.99	gr/cm3

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM	43.26%	67.32%
CBR al 95% DSM	22.36%	47.71%

Dens. Máxima seca(gr/cm3)	2.16
95% de la DMS (gr/cm3)	2.05

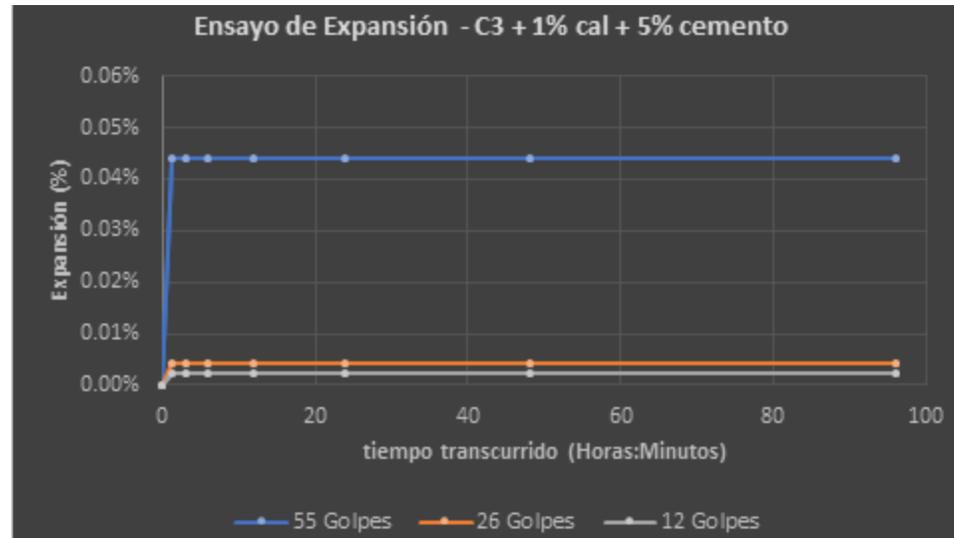


b) Calicata N°03- Suelo más 1%cal y 5% cemento

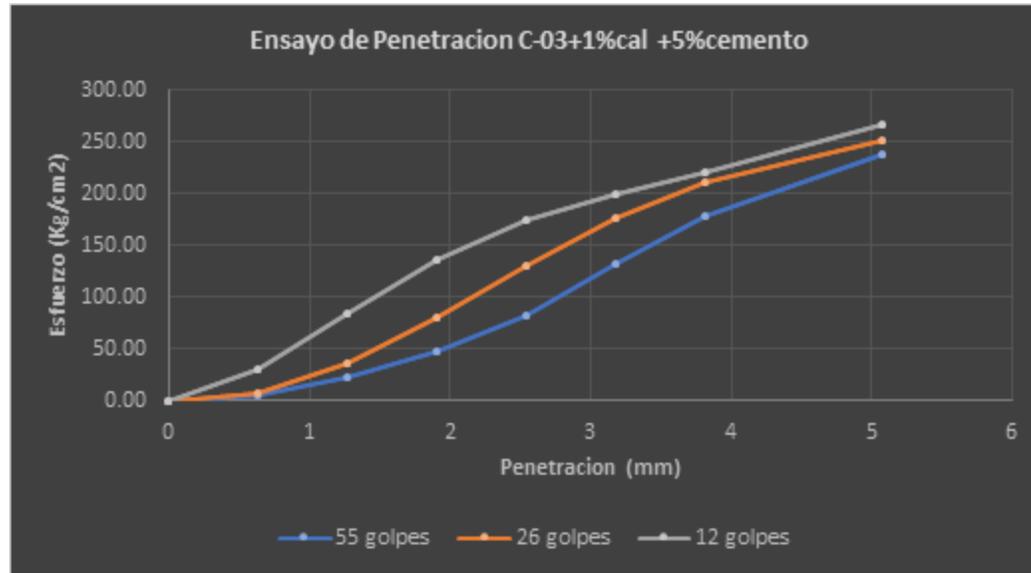
Tabla 93:

(CBR) de la Calicata 03 -Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.

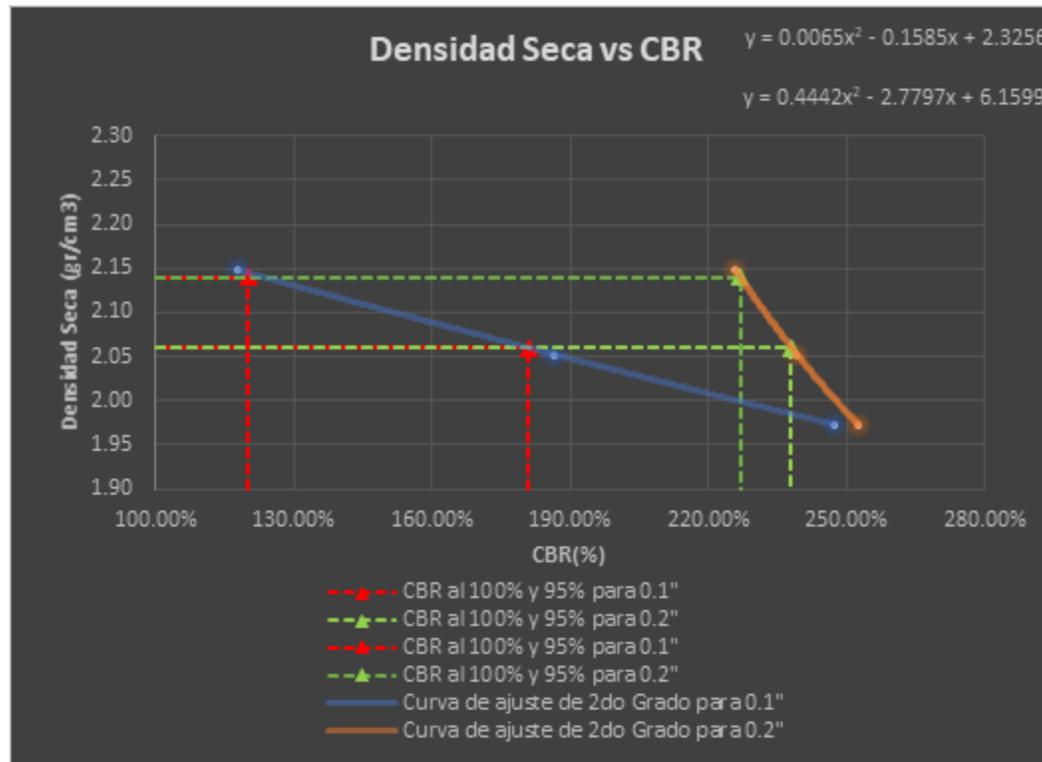
Ensayo de Expansión – C3 + 1% cal + 5% cemento													
Tiempo		55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de	Dial (0.001")	deformación		% de	Dial (0.001")	Deformación		% de
Dias	HH:MM		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión
0	00 hor 00min	0	0	0.00	0.000%	0.0	0	0.00	0.00%	0.0	0	0.00	0.0000%
0.0625	1 hor 30 min	576	0.00058	16.62	0.045%	272	0.0003	7.12	0.005%	146	0.0001	3.66	0.0022%
0.125	3 hor 00 min	576	0.00058	16.67	0.045%	272	0.0003	7.17	0.005%	146	0.0001	3.66	0.0022%
0.25	6 hor 00 min	576	0.00058	16.67	0.045%	272	0.0003	7.17	0.005%	146	0.0001	3.66	0.0022%
0.5	12 hor 00 min	576	0.00058	16.67	0.045%	272	0.0003	7.17	0.005%	146	0.0001	3.66	0.0022%
1	24 hor 00 min	576	0.00058	16.67	0.045%	273	0.0003	7.17	0.005%	146	0.0001	3.66	0.0022%
2	48 hor 00 min	576	0.00058	16.62	0.045%	273	0.0003	7.12	0.005%	146	0.0001	3.68	0.0022%
4	96 hor 00 min	576	0.00058	16.62	0.045%	273	0.0003	7.12	0.005%	146	0.0001	3.68	0.0022%



Ensayo de Penetración (C3+1%cal + 5%Cemento)														
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Piston (cm2) =		55 golpes			26 golpes			12 golpes					
	Dial (0.001")	Penetración (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %
0	0		0.00	0.00		0	0	0		0	0	0		
25	0.635		102.04	5.27			157.00	8.11			606.40	31.34		
50	1.27		424.75	21.95			690.92	35.71			1621.90	83.82		
75	1.905		937.52	48.45			1545.07	79.85			2642.63	136.57		
70.31	100	2.54	1604.18	82.90	117.91%		2538.79	131.20	186.13%		3362.09	173.75	246.49%	
125	3.175		2561.89	132.40			3412.99	176.38			3851.30	199.03		
150	3.81		3463.81	179.01			4090.82	211.41			4284.66	221.43		
105.46	200	5.08	4609.15	238.20	225.87%		4881.93	252.30	238.74%		5152.66	266.29	251.98%	
	300	7.62												
	400	10.16												
	500	12.7												



Correcciones	Muestra 01			Muestra 02			Muestra 03		
Carga Unitaria Patrón	Penet. Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penet. Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%
70.31	2.54	82.90	117.91%	2.54	131.20	186.61%	2.54	173.75	247.12%
105.46	5.08	238.20	225.87%	5.08	252.30	239.23%	5.08	266.29	252.50%



Golpes	CBR		Densidad Seca	
	0.1"	0.2"		
55	117.91%	225.87%	2.15	gr/cm ³
26	186.61%	239.23%	2.05	gr/cm ³
11	247.12%	252.50%	1.97	gr/cm ³

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM	181.00%	238.05
CBR al 95% DSM	102.47%	223.01%

Dens. Máxima seca(gr/cm3)	2.17
95% de la DMS (gr/cm3)	2.06

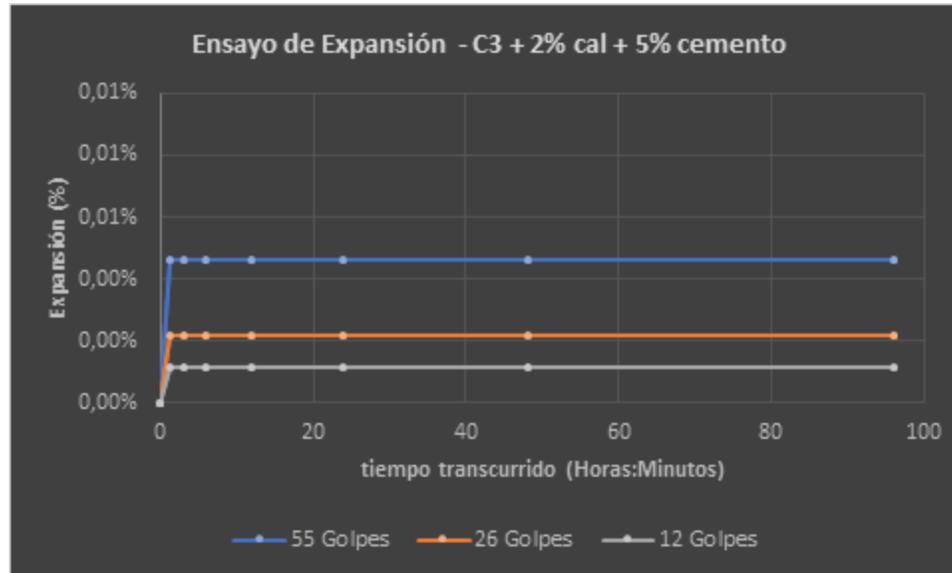


c) Calicata N°3-Suelo más 2% cal y 5% cemento

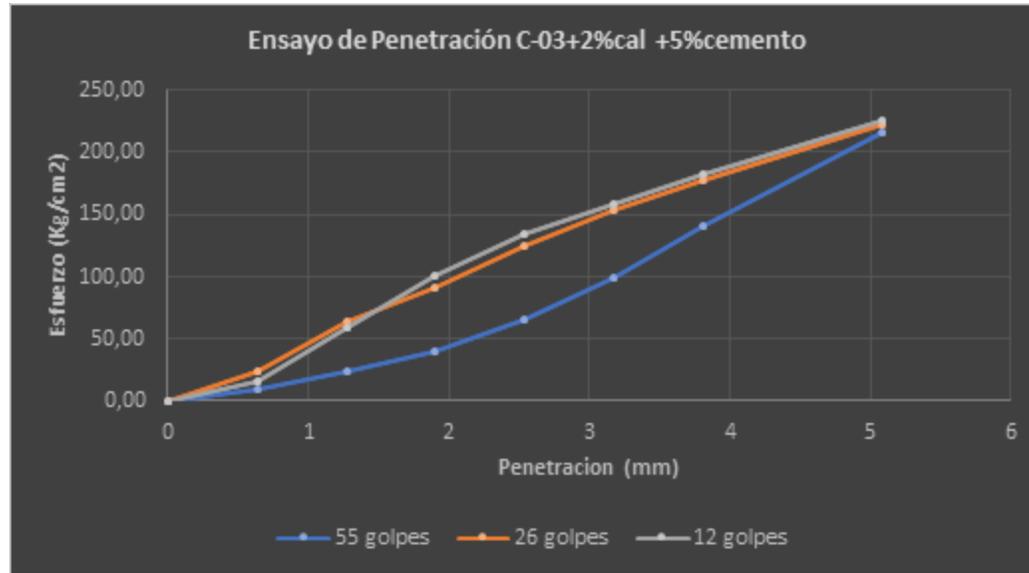
Tabla 94:

(CBR) de la Calicata 03 -Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.

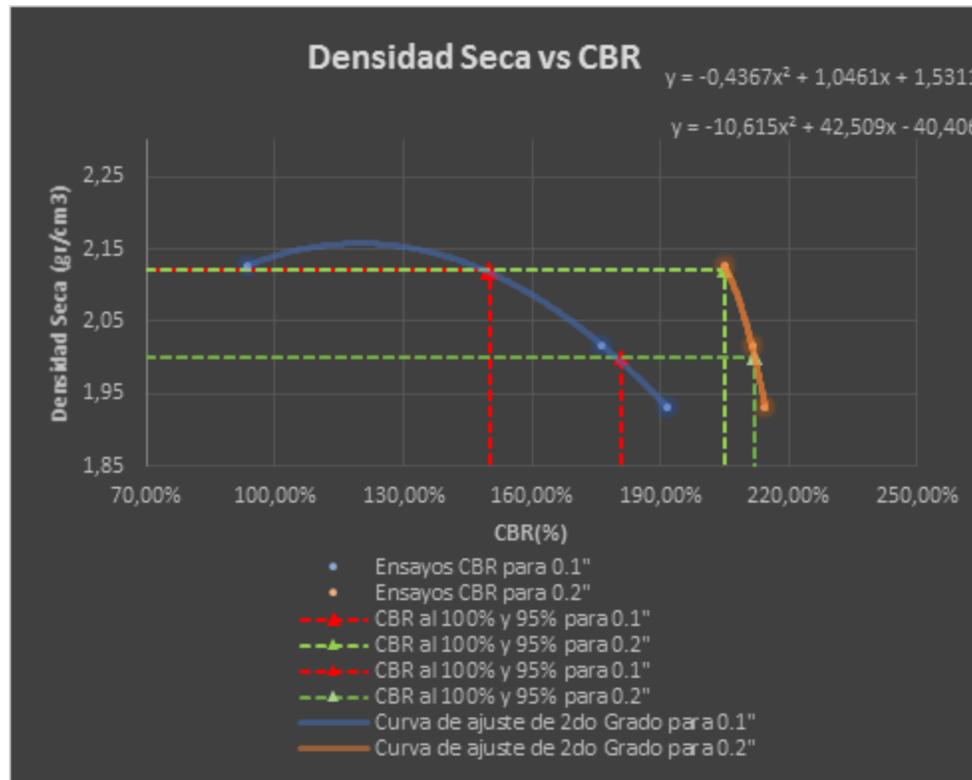
Ensayo de Expansión - C3 + 2% cal + 5% cemento													
Tiempo		55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de	Dial (0.001")	deformación		% de	Dial (0.001")	Deformación		% de
Dias	HH:MM		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión
0	00 hor 00min	0.0	0	0.00	0.00%	0.0	0	0.00	0.00%	0.0	0	0.00	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	148	0.00015	14.76	0.005%	273	0.0003	7.09	0.002%	575	0.0006	3.92	0.001%
0.125	3 hor 00 min	148	0.00015	14.76	0.005%	273	0.0003	7.09	0.002%	575	0.0006	3.92	0.001%
0.25	6 hor 00 min	148	0.00015	14.76	0.005%	273	0.0003	7.09	0.002%	575	0.0006	3.92	0.001%
0.5	12 hor 00 min	148	0.00015	14.76	0.005%	273	0.0003	7.09	0.002%	575	0.0006	3.92	0.001%
1	24 hor 00 min	148	0.00015	14.76	0.005%	274	0.0003	7.09	0.002%	575	0.0006	3.92	0.001%
2	48 hor 00 min	148	0.00015	14.76	0.005%	274	0.0003	7.12	0.002%	575	0.0006	3.92	0.001%
4	96 hor 00 min	148	0.00015	14.76	0.005%	274	0.0003	7.12	0.002%	575	0.0006	3.92	0.001%



Ensayo de Penetración (C3+2%cal + 5%Cemento)														
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Pistón (cm2) =		55 golpes				26 golpes				12 golpes			
	Dial (0.001")	Penetración (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %
0	0		0.00	0.00			0	0			0.00	0		
25	0.635		190.70	9.86			452.14	23.37			312.49	16.15		
50	1.27		458.20	23.68			1245.27	64.36			1126.01	58.19		
75	1.905		766.28	39.60			1760.24	90.97			1953.96	100.98		
70.31	100	2.54	1269.08	65.59	93.28%		2396.73	123.86	175.72%		2604.81	134.62	190.97%	
125	3.175		1918.81	99.16			2966.42	153.30			3053.04	157.78		
150	3.81		2708.46	139.97			3432.23	177.38			3511.21	181.46		
105.46	200	5.08	4176.09	215.82	204.64%		4314.31	222.96	210.98%		4374.96	226.10	213.94%	
	300	7.62												
	400	10.16												
	500	12.7												



Correcciones		Muestra 01		Muestra 02			Muestra 03		
Carga Unitaria Patron	Penetración Corregida	Esfu. Corregido	CBR Corregido	Penet. Corregida	Esfu. Corregido	CBR Corregido	Penet. Corregida	Esfu. Corregido	CBR Corregido
Kg/cm2	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%
70.31	2.54	65.79	93.57%	2.54	124.07	176.46%	2.54	134.82	191.75%
105.46	5.08	216.03	204.84%	5.08	222.96	211.42%	5.08	226.30	214.59%



Golpes	CBR		Densidad Seca	
	01"	0.2"		
55	93.57%	204.84%	2.13	gr/cm ³
26	176.46%	211.42%	2.02	gr/cm ³
11	191.75%	214.59%	1.93	gr/cm ³

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM	196.57%	200.02%
CBR al 95% DSM	161.00%	178.64%

Dens. Máxima seca(gr/cm³)	2.19
95% de la DMS (gr/cm³)	2.08

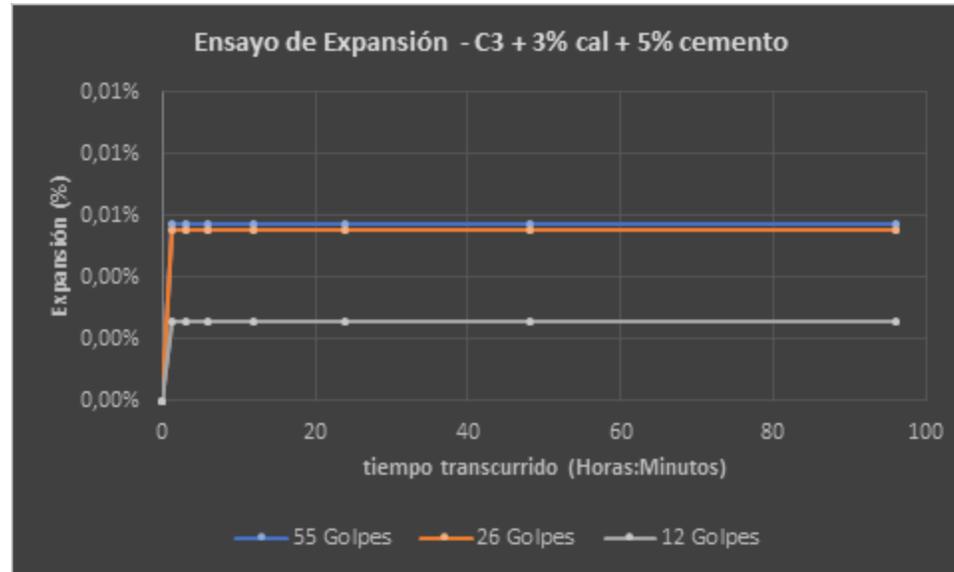


d) Calicata N°3-Suelo más 3% cal y 5% cemento

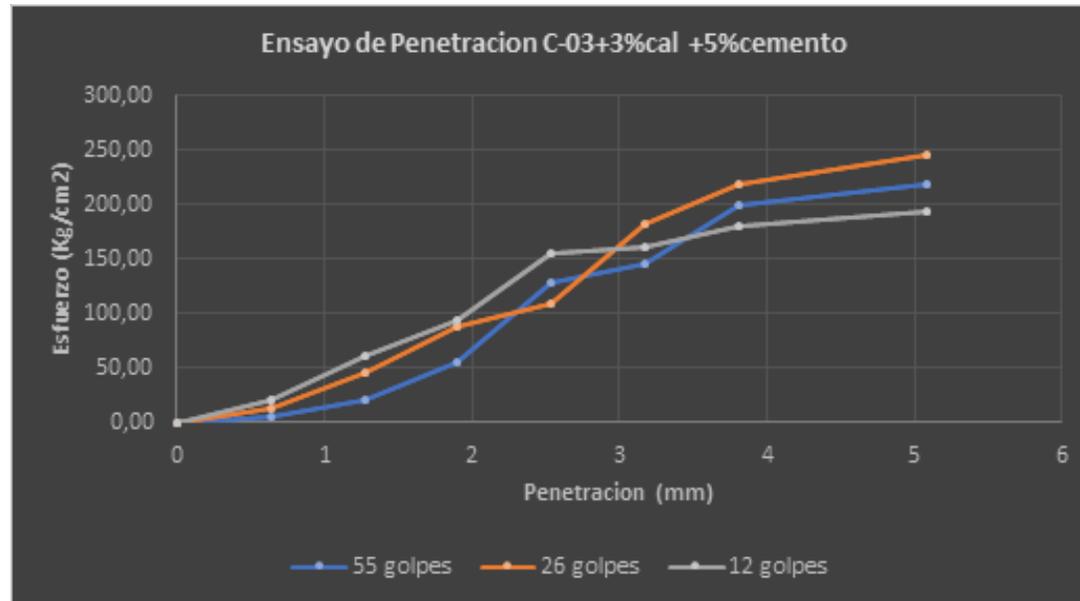
Tabla 95:

(CBR) de la Calicata 03 -Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.

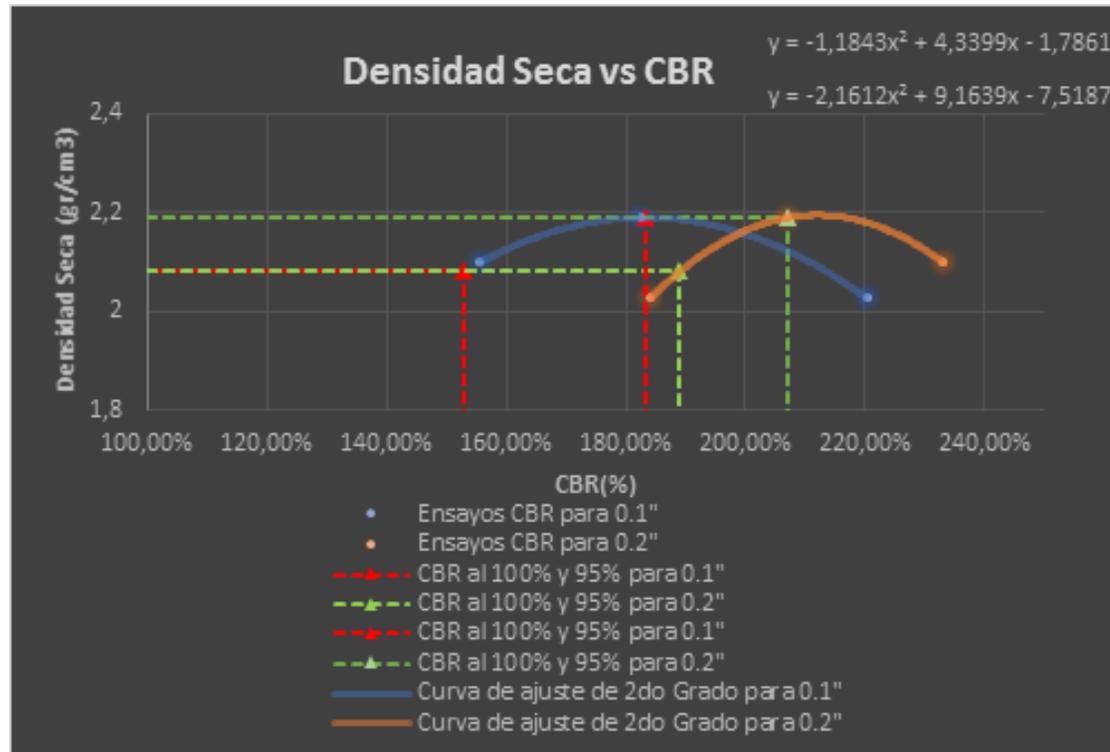
Ensayo de Expansión – C3 + 3% cal + 5% cemento													
Tiempo		55 Golpes			26 Golpes			12 Golpes					
		Dial (0.001")	Deformación Pulg	% de Expansión	Dial (0.001")	deformación mm	% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación Pulg	% de Expansión			
Dias	HH:MM												
0	00 hor 00min	0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	229	0.00023	5.72	0.006%	220	0.0002	5.51	0.006%	101	0.0001	2.54	0.003%
0.125	3 hor 00 min	229	0.00023	5.72	0.006%	220	0.0002	5.51	0.006%	101	0.0001	2.54	0.003%
0.25	6 hor 00 min	229	0.00023	5.72	0.006%	220	0.0002	5.51	0.006%	101	0.0001	2.54	0.003%
0.5	12 hor 00 min	229	0.00023	5.72	0.006%	220	0.0002	5.51	0.006%	101	0.0001	2.54	0.003%
1	24 hor 00 min	229	0.00023	5.72	0.006%	220	0.0002	5.51	0.006%	101	0.0001	2.54	0.003%
2	48 hor 00 min	229	0.00023	5.72	0.006%	220	0.0002	5.51	0.006%	101	0.0001	2.54	0.003%
4	96 hor 00 min	229	0.00023	5.72	0.006%	220	0.0002	5.51	0.006%	101	0.0001	2.54	0.003%



Ensayo de Penetración (C1+3%cal + 5%Cemento)															
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Pistón (cm2) =		55 golpes				26 golpes				12 golpes				
	Dial (0.001")	Penetración (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	
	0	0	0.00	0.00			0	0	0		0	0	0		
	25	0.635	90.81	4.69			57	264.72	13.68		23	398.47	20.59		
	50	1.27	404.54	20.91			125	881.51	45.56		75	1204.61	62.25		
	75	1.905	1067.28	55.16			198	1720.15	88.90		126	1802.53	93.15		
70.31	100	2.54	2486.34	128.49		182.75%	265	2115.87	109.35		155.12%	169	2998.25	154.95	219.82%
	125	3.175	2834.95	146.51			321	3527.40	182.29		209	3133.09	161.92		
	150	3.81	3878.27	200.43			364	4220.35	218.11		237	3503.75	181.07		
105.46	200	5.08	4225.02	218.35		207.04%	434	4756.97	245.84		232.63%	287	3756.21	194.12	183.69%
	300	7.62													
	400	10.16													
	500	12.7													



Correcciones	Muestra 01			Muestra 02			Muestra 03		
	Penetración	Esfuerzo	CBR	Penet.	Esfu.	CBR	Penet.	Esfu.	CBR
Patrón	Corregida	Corregido	Corregido	Corregida	Corregido	Corregido	Corregida	Corregido	Corregido
Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%
70.31	2.54	128.49	182.75%	2.54	109.35	155.52%	2.54	154.95	220.38%
105.46	5.08	218.35	207.04%	5.08	245.84	233.11%	5.08	194.12	184.07%



Golpes	CBR		Densidad Seca	
	01"	0.2"		
55	182.75%	207.04%	2.19	gr/cm3
26	155.52%	233.11%	2.10	gr/cm3
11	220.38%	184.07%	2.03	gr/cm3

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM	183.22%	206.97%
CBR al 95% DSM	152.77%	188.88%

Dens. Máxima seca(gr/cm3)	2.19
95% de la DMS (gr/cm3)	2.08

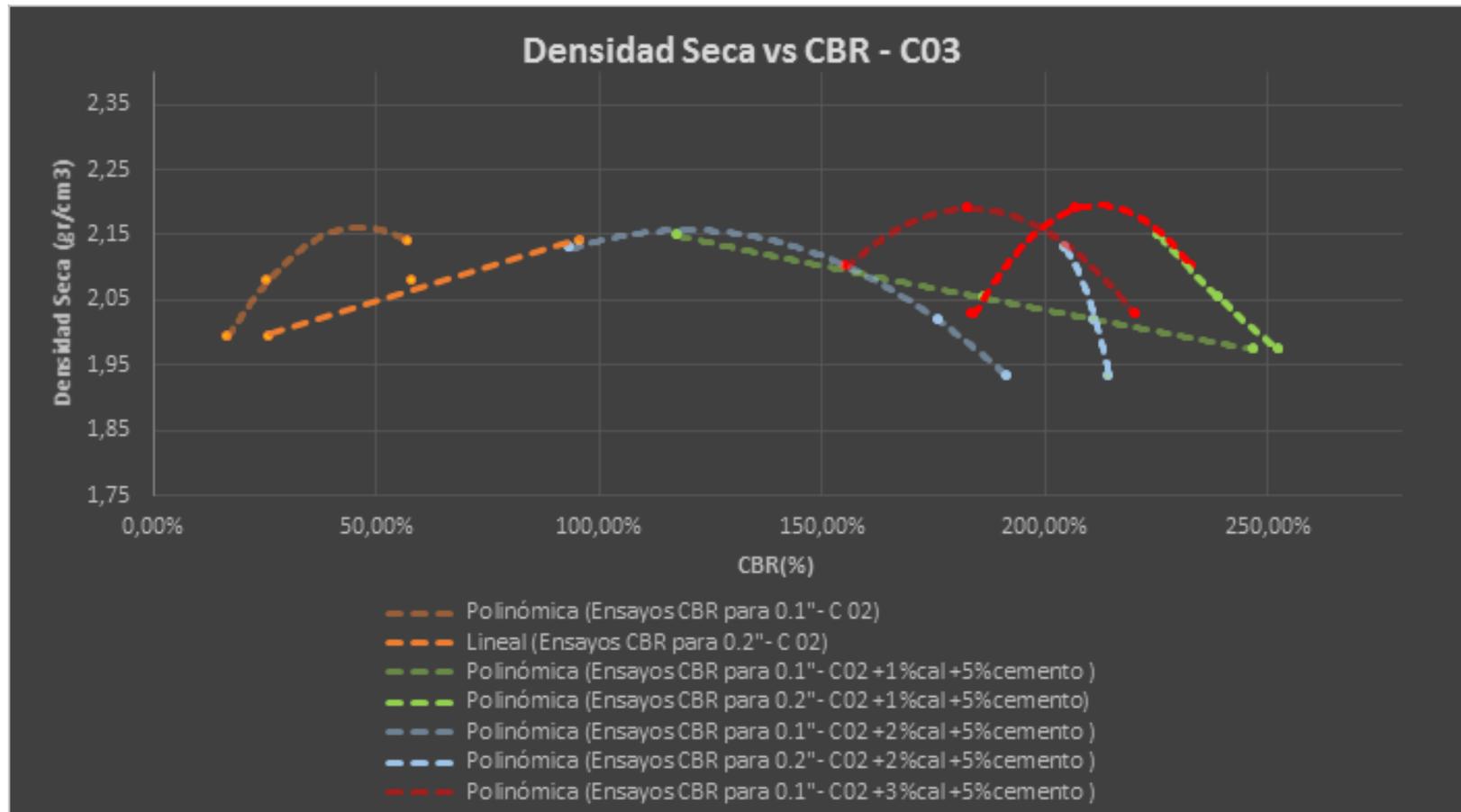


e) Calicata N°3-Suelo, más 1%cal y 5% cemento y 5% cemento, 2%cal y 5% cemento, 3 cal y 5% cemento

Tabla 96:

Comparativa de los Resultados de los Ensayos de CBR de la Calicata 03 – Suelo más Aditivos.

Calicata N° 03- Suelo Natural					Calicata N°03 - Suelo+ 1%cal y 5% cemento				
Número de Golpes	CBR		Dens. Seca Máxima		Número de Golpes	CBR		Dens. Seca Máxima	
	0.1"	0.2"				0.1"	0.2"		
55	57.35%	96.17%	2.14	gr/cm3	55	117.91%	225.87%	2.15	gr/cm3
26	25.77%	58.21%	2.08	gr/cm3	26	186.61%	239.23%	2.05	gr/cm3
11	16.82%	26.10%	1.99	gr/cm3	11	247.12%	252.50%	1.97	gr/cm3
Calicata N°03 - Suelo+ 2%cal y 5% cemento					Calicata N°03 - Suelo+ 3%cal y 5% cemento				
Número de Golpes	CBR		Dens. Seca Máxima		Número de Golpes	CBR		Dens. Seca Máxima	
	0.1"	0.2"				0.1"	0.2"		
55	93.57%	204.84%	2.13	gr/cm3	55	182.75%	207.04%	2.19	gr/cm3
26	176.46%	211.42%	2.02	gr/cm3	26	155.52%	233.11%	2.10	gr/cm3
11	191.75%	214.59%	1.93	gr/cm3	11	220.38%	184.07%	2.03	gr/cm3





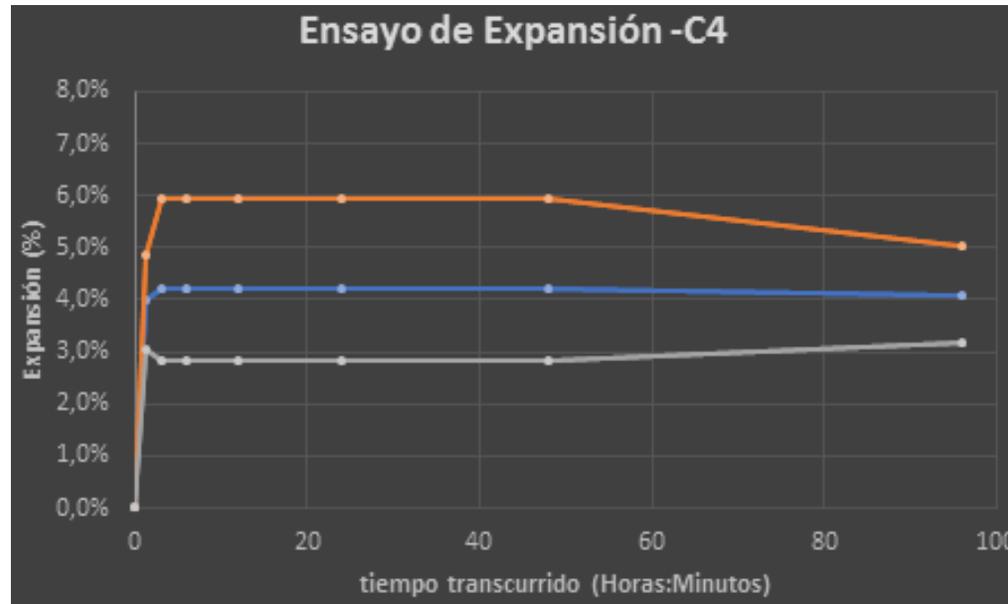
Calicata N°4

a) Calicata N° 04 – Suelo natural

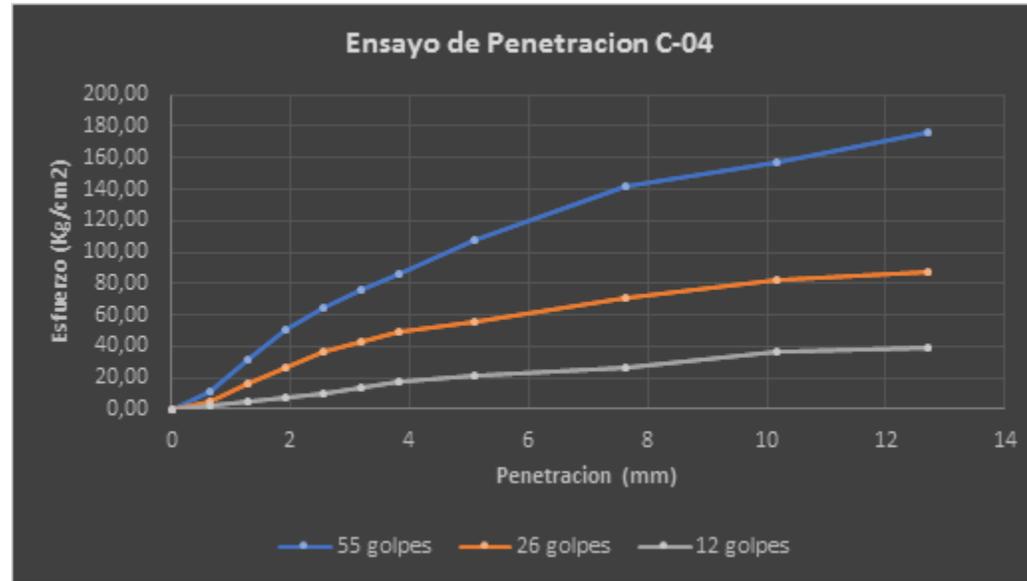
Tabla 97:

(CBR) de la Calicata 04

Ensayo de Expansión -C4													
Tiempo		55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
		Dial	Deformación		% de	Dial	deformación		% de	Dial	Deformación		% de
Días	HH:MM	(0.001")	Pulg	mm	Expansión	(0.001")	Pulg	mm	Expansión	(0.001")	Pulg	mm	Expansión
0	00 hor 00min	0	0	0.00	0.0%	0	0	0.00	0%	0	0	0.00	0%
0.0625	1 hor 30 min	183	0.183	4.66	4.000%	223	0.223	5.67	4.874%	140	0.14	3.56	3.060%
0.125	3 hor 00 min	192	0.192	4.88	4.196%	272	0.272	6.92	5.945%	129	0.129	3.28	2.819%
0.25	6 hor 00 min	192	0.192	4.88	4.196%	272	0.272	6.92	5.945%	129	0.129	3.28	2.819%
0.5	12 hor 00 min	192	0.192	4.88	4.196%	272	0.272	6.92	5.945%	129	0.129	3.28	2.819%
1	24 hor 00 min	192	0.192	4.88	4.196%	272	0.272	6.92	5.945%	129	0.129	3.28	2.819%
2	48 hor 00 min	192	0.192	4.88	4.196%	272	0.272	6.92	5.945%	129	0.129	3.28	2.819%
4	96 hor 00 min	186	0.186	4.73	4.065%	230	0.23	5.85	5.027%	145	0.145	3.69	3.169%



Ensayo de Penetración -C4															
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Piston (cm2) =		55 golpes				26 golpes				12 golpes				
	Dial (0.001")	Penetración n (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfu. Kg/cm ²	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfu. Kg/cm ²	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm ²	CBR %	
	0	0		0.00	0.00		0	0		0	0		0		
	25	0.635		208.99	10.80		93.04	4.81		38.01	1.96				
	50	1.27		621.57	32.12		306.40	15.83		93.04	4.81				
	75	1.905		982.47	50.77		512.72	26.50		115.32	5.96				
70.31	100	2.54		1257.18	64.97	92.41%	706.04	36.49	51.76%	132.43	6.84	9.71%			
	125	3.175		1465.04	75.71		838.46	43.33		249.85	12.91				
	150	3.81		1677.79	86.71		946.51	48.92		307.34	15.88				
105.46	200	5.08		2076.78	107.33	101.77%	1072.24	55.41	52.43%	351.74	18.18	17.20%			
	300	7.62		2737.20	141.46		1382.01	71.42		512.72	26.50				
	400	10.16		3040.63	157.14		1595.18	82.44		700.01	36.18				
	500	12.7		3415.29	176.50		1689.58	87.32		754.24	38.98				



Correcciones	Muestra 01			Muestra 02			Muestra 03		
Carga Unitaria Patrón	Penet. Corregida	Esfu. Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfu. Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm2	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%
70.31	2.54	64.97	92.41%	2.54	36.49	51.90%	2.54	6.84	9.73%
105.46	5.08	107.33	101.77%	5.08	55.41	52.54%	5.08	18.18	17.24%



Golpes	CBR		Densidad Seca	
	01"	0.2"		
55	92.41%	101.77%	2.13	gr/cm3
26	51.90%	52.54%	2.04	gr/cm3
11	9.73%	17.24%	1.96	gr/cm3

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM	60.36%	61.22%
CBR al 95% DSM	9.85%	17.27%

Dens. Máxima seca(gr/cm3)	2.09
95% de la DMS (gr/cm3)	1.98

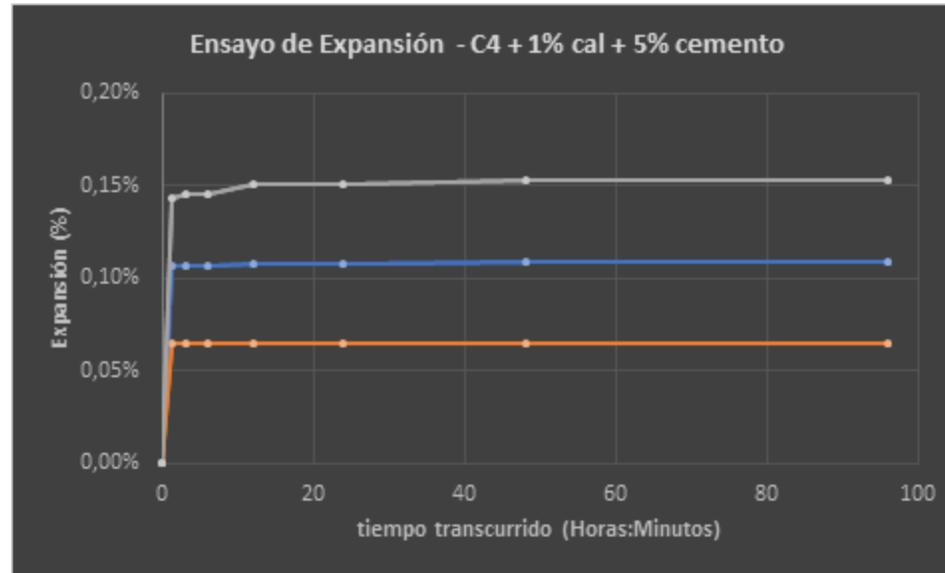


b) Calicata N°04- Suelo más 1% cal y 5% cemento

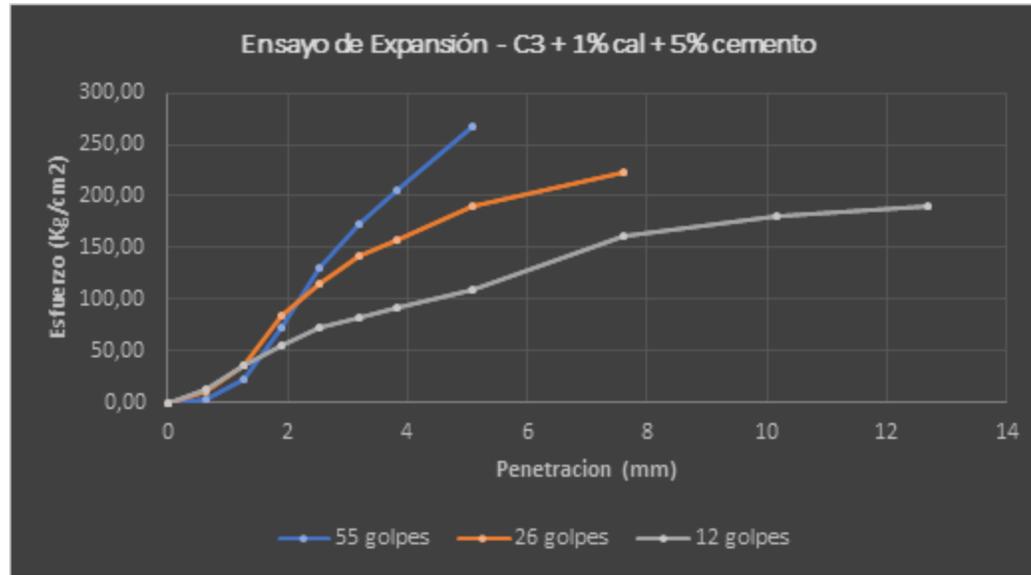
Tabla 98:

(CBR) de la Calicata 04 -Suelo más 1% Cal y 5% Cemento.

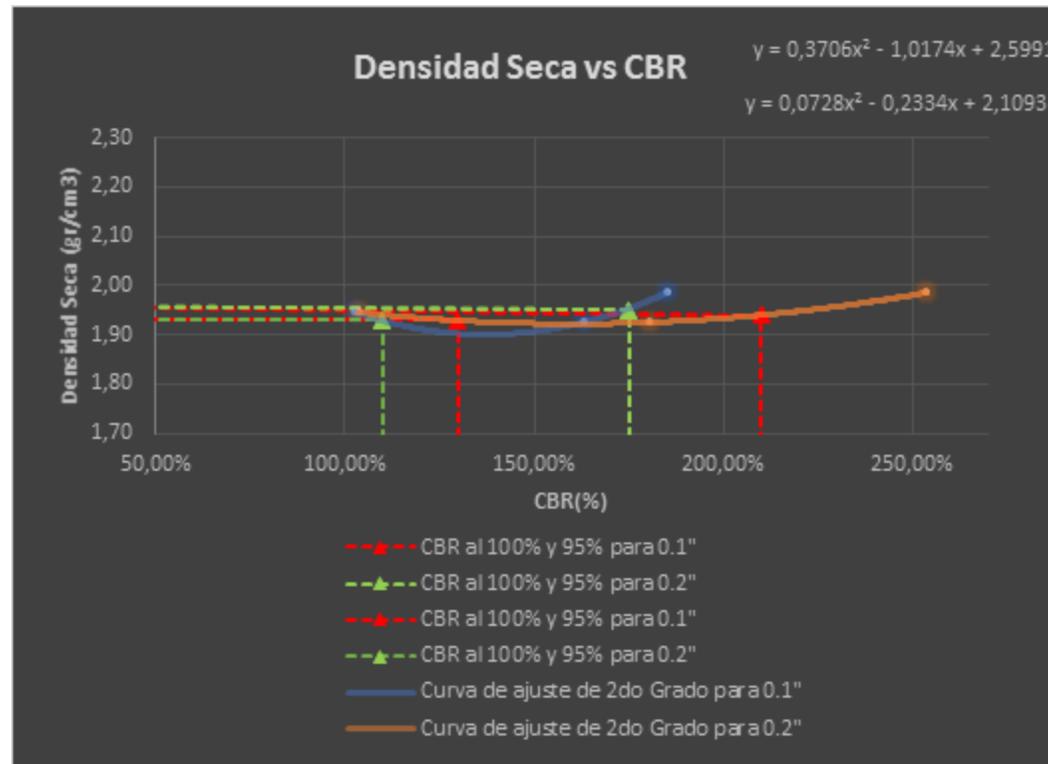
Ensayo de Expansión – C4 + 1% cal + 5% cemento													
Tiempo		55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación Pulg	mm	% de Expansión	Dial (0.001")	deformación Pulg	mm	% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación Pulg	mm	% de Expansión
Dias	HH:MM												
0	00 hor 00min	0	0	0.00	0.00%	0	0	0.00	0%	0	0	0.00	0%
0.0625	1 hor 30 min	183	0.183	4.66	0.106%	225	0.225	5.72	0.064%	96	0.096	2.44	0.143%
0.125	3 hor 00 min	183	0.183	4.66	0.106%	225	0.225	5.72	0.064%	98	0.098	2.49	0.146%
0.25	6 hor 00 min	183	0.183	4.66	0.106%	225	0.225	5.72	0.064%	98	0.098	2.49	0.146%
0.5	12 hor 00 min	185	0.185	4.71	0.107%	225	0.225	5.72	0.064%	101	0.101	2.57	0.150%
1	24 hor 00 min	185.0	0.185	4.71	0.107%	225	0.225	5.72	0.064%	101	0.101	2.57	0.150%
2	48 hor 00 min	187	0.187	4.76	0.109%	227	0.227	5.77	0.065%	103	0.103	2.62	0.153%
4	96 hor 00 min	188	0.188	4.78	0.109%	228	0.228	5.80	0.065%	103	0.103	2.62	0.153%



Ensayo de Penetración (C4+1%cal + 5%Cemento)														
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Pistón (cm2) =		55 golpes				26 golpes				12 golpes			
	Dial (0.001")	Penetración (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %
0	0			0.00	0.00		0	0			0	0		
25	0.635			74.70	3.86		215.08	11.12			257.72	13.32		
50	1.27			427.88	22.11		700.01	36.18			706.04	36.49		
75	1.905			1405.75	72.65		1630.60	84.27			1048.32	54.18		
70.31	100	2.54		2518.24	130.14	185.10%	2216.70	114.56	162.52%		1393.88	72.04	102.19%	
125	3.175			3330.45	172.12		2748.70	142.05			1583.36	81.83		
150	3.81			3981.74	205.77		3034.93	156.84			1789.65	92.49		
105.46	200	5.08		5176.01	267.49	253.65%	3685.53	190.47	180.23%		2111.80	109.14	103.27%	
	300	7.62												
	400	10.16												
	500	12.7												



Correcciones	Muestra 01			Muestra 02			Muestra 03		
Carga Unitaria Patrón	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%
70.31	2.54	130.14	185.10%	2.54	114.56	162.93%	2.54	72.04	102.45%
105.46	5.08	267.49	253.65%	5.08	190.47	180.61%	5.08	109.14	103.49%



Golpes	CBR		Densidad Seca	
	0.1"	0.2"		
55	185.10%	253.65%	1.99	gr/cm3
26	162.93%	180.61%	1.93	gr/cm3
11	102.45%	103.49%	1.95	gr/cm3

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM	60.36%	78.27%
CBR al 95% DSM	80.55%	101.34%

Dens. Máxima seca (gr/cm3)	2.12
95% de la DMS (gr/cm3)	2.02

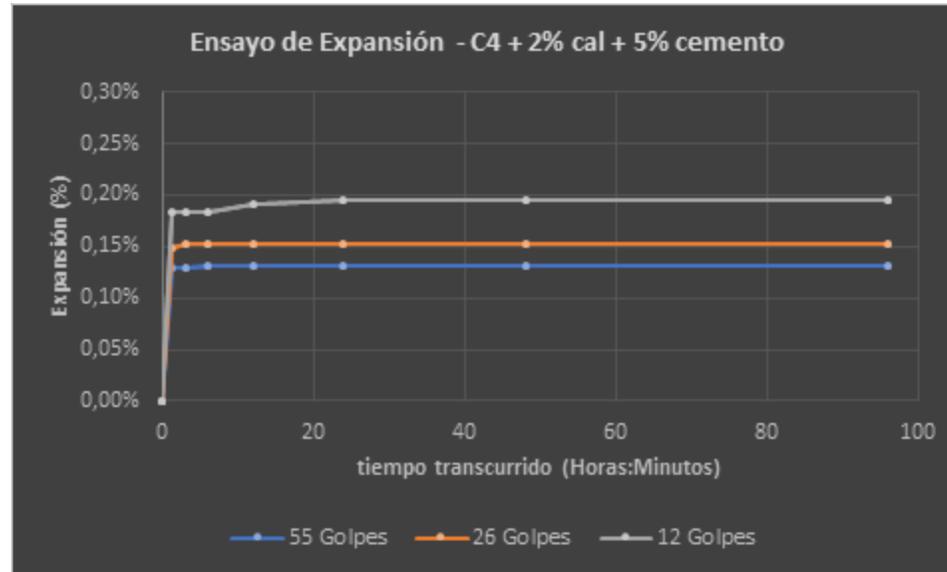


c) Calicata N°4-Suelo más 2% cal y 5% cemento

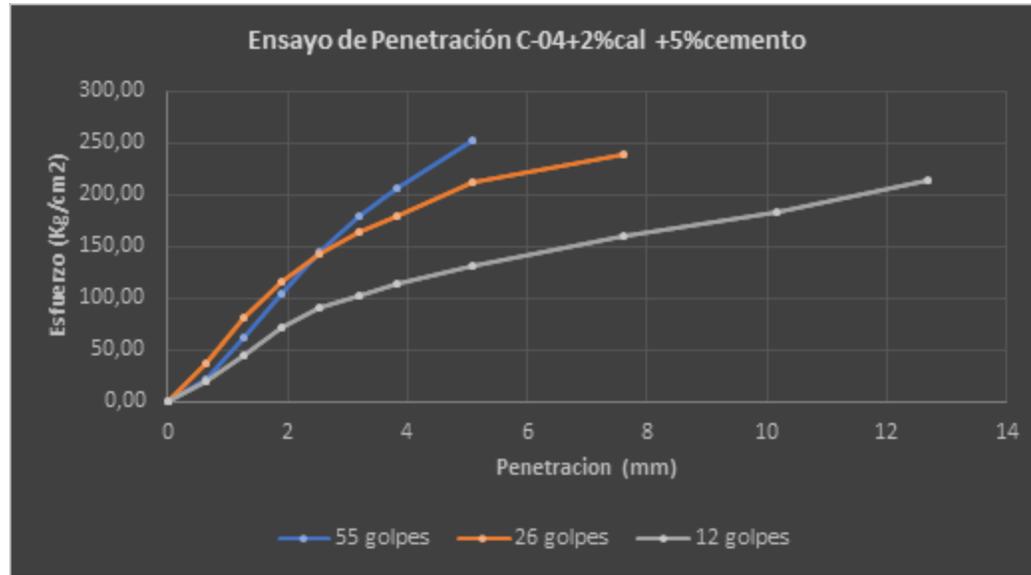
Tabla 99:

CBR) de la Calicata 04 -Suelo más 2% Cal y 5% Cemento.

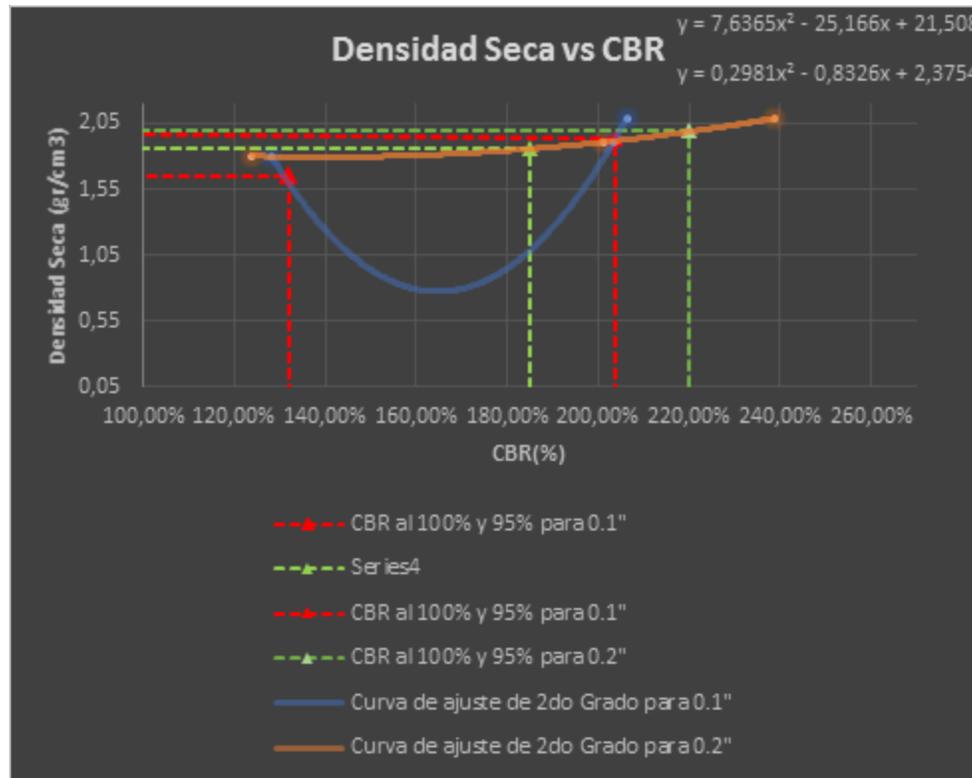
Ensayo de Expansión - C4+ 2% cal + 5% cemento													
Tiempo		55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de	Dial (0.001")	deformación		% de	Dial (0.001")	Deformación		% de
Días	HH:MM		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión		Pulg	mm	Expansión
0	00 hor 00min	0.0	0	0.00	0.00%	0.0	0	0.00	0.00%	0.0	0	0.00	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	519.0	0.519	13.20	0.130%	255.0	0.255	6.49	0.149%	138.0	0.138	3.51	0.18%
0.125	3 hor 00 min	519.0	0.519	13.20	0.130%	259.0	0.259	6.59	0.151%	138.0	0.138	3.51	0.18%
0.25	6 hor 00 min	523.0	0.523	13.31	0.131%	261.0	0.261	6.64	0.153%	138.0	0.138	3.51	0.18%
0.5	12 hor 00 min	524.0	0.524	13.33	0.131%	261.0	0.261	6.64	0.153%	144.0	0.144	3.66	0.19%
1	24 hor 00 min	525.0	0.525	13.36	0.131%	262.0	0.262	6.67	0.153%	147.0	0.147	3.74	0.20%
2	48 hor 00 min	525.0	0.525	13.36	0.131%	262.0	0.262	6.67	0.153%	147.0	0.147	3.74	0.20%
4	96 hor 00 min	525.0	0.525	13.36	0.131%	262.0	0.262	6.67	0.153%	147.0	0.147	3.74	0.20%



Ensayo de Penetración (C4+2%cal + 5%Cemento)														
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Pistón (cm2) =		55 golpes				26 golpes				12 golpes			
	Dial (0.001")	Penetración (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %
	0	0		0.00	0.00		0	0		0	0		0	0
	25	0.635		397.54	20.54		706.04	36.49		391.47	20.23			
	50	1.27		1197.61	61.89		1583.36	81.83		880.51	45.50			
	75	1.905		2012.49	104.00		2239.97	115.76		1376.08	71.12			
70.31	100	2.54		2806.11	145.02	206.26%	2765.93	142.94	202.78%	1742.59	90.06	127.76%		
	125	3.175		3477.38	179.71		3154.54	163.03		1994.94	103.10			
	150	3.81		3987.31	206.06		3466.10	179.13		2199.23	113.66			
105.46	200	5.08		4872.93	251.83	238.79%	4104.02	212.09	200.69%	2529.79	130.74	123.71%		
	300	7.62												
	400	10.16												
	500	12.7												



Correcciones	Muestra 01			Muestra 02			Muestra 03		
Carga Unitaria Patrón	Penetración Corregida	Esfu. Corregido	CBR Corregido	Penet. Corregida	Esfu. Corregido	CBR Corregido	Penet. Corregida	Esfu. Corregido	CBR Corregido
Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%
70.31	2.54	145.02	206.26%	2.54	142.94	203.30%	2.54	90.06	128.08%
105.46	5.08	251.83	238.79%	5.08	212.09	201.11%	5.08	130.74	123.97%



Golpes	CBR		Densidad Seca	
	01"	0.2"		
55	206.26%	238.79%	2.09	gr/cm ³
26	203.30%	201.11%	1.91	gr/cm ³
11	128.08%	123.97%	1.80	gr/cm ³

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM	188.00%	220.00%
CBR al 95% DSM	132.00%	185.00%

Densidad Máxima seca(gr/cm³)	2.13
95% de la DMS (gr/cm³)	2.03

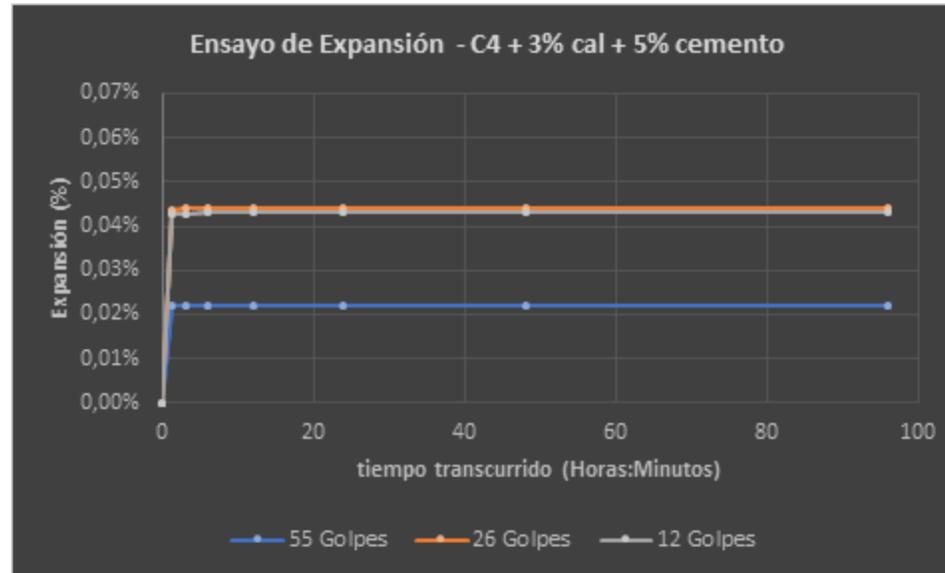


d) Calicata N°4-Suelo más 3% cal y 5% cemento

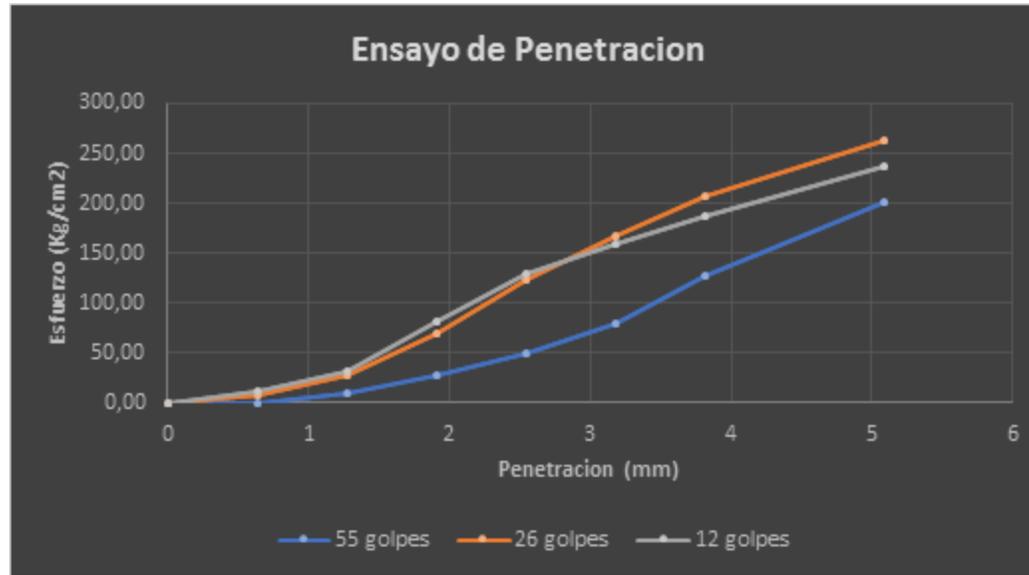
Tabla 100:

(CBR) de la Calicata 04 -Suelo más 3% Cal y 5% Cemento.

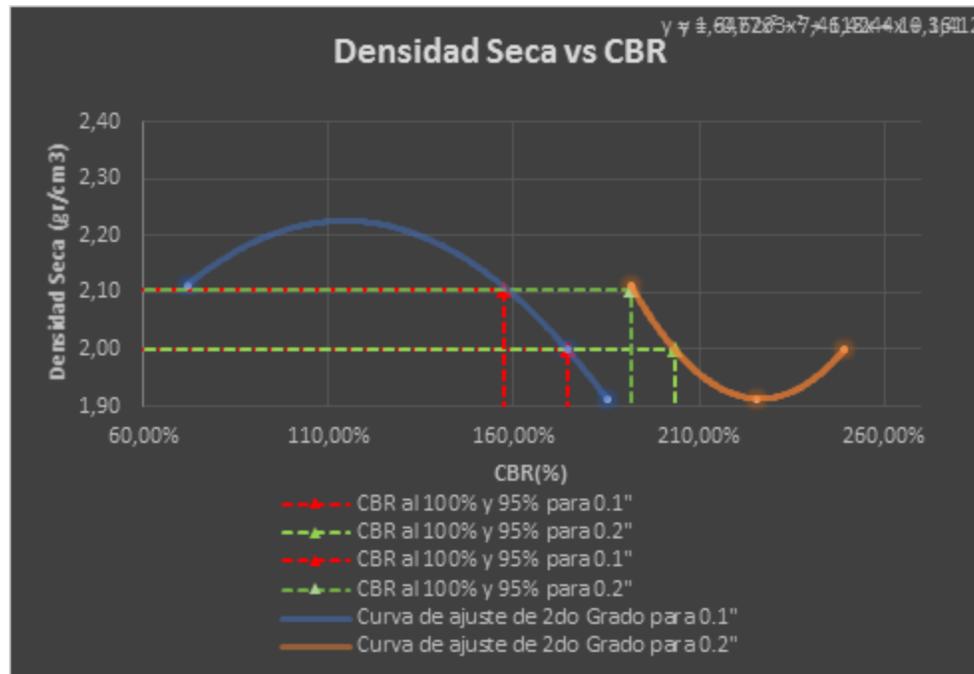
Ensayo de Expansión – C4 + 3% cal + 5% cemento													
Tiempo		55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
		Dial	Deformación		% de	Dial	deformación		% de	Dial	Deformación		% de
Dias	HH:MM	(0.001")	Pulg	mm	Expansión	(0.001")	Pulg	mm	Expansión	(0.001")	Pulg	mm	Expansión
0	00 hor 00min	0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	614	0.614	15.62	0.022%	268	0.268	6.82	0.044%	145	0.145	3.69	0.042%
0.125	3 hor 00 min	615	0.615	15.65	0.022%	270	0.27	6.87	0.044%	145	0.145	3.69	0.042%
0.25	6 hor 00 min	615	0.615	15.65	0.022%	270	0.27	6.87	0.044%	147	0.147	3.74	0.043%
0.5	12 hor 00 min	615	0.615	15.65	0.022%	270	0.27	6.87	0.044%	147	0.147	3.74	0.043%
1	24 hor 00 min	615	0.615	15.65	0.022%	270	0.27	6.87	0.044%	147	0.147	3.74	0.043%
2	48 hor 00 min	615	0.615	15.65	0.022%	270	0.27	6.87	0.044%	147	0.147	3.74	0.043%
4	96 hor 00 min	615	0.615	15.65	0.022%	270	0.27	6.87	0.044%	147	0.147	3.74	0.043%



Ensayo de Penetración (C4+3%cal + 5%Cemento)														
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Piston (cm2) =		55 golpes				26 golpes				12 golpes			
	Dial (0.001")	Penetración (mm)	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %
	0	0		0.00	0.00		0	0		0	0		0	
	25	0.635		13.53	0.70		129.68	6.70		221.18	11.43			
	50	1.27		172.40	8.91		524.83	27.12		627.60	32.43			
	75	1.905		518.77	26.81		1334.50	68.97		1595.18	82.44			
70.31	100	2.54		976.48	50.46	71.77%	2373.54	122.66	174.02%	2518.24	130.14	184.62%		
	125	3.175		1553.81	80.30		3245.43	167.72		3080.54	159.20			
	150	3.81		2466.21	127.45		4020.69	207.79		3629.38	187.56			
105.46	200	5.08		3909.30	202.03	191.57%	5089.68	263.03	248.90%	4600.15	237.73	224.96%		
	300	7.62												
	400	10.16												
	500	12.7												



Correcciones	Muestra 01			Muestra 02			Muestra 03		
	Penetración	Esfuerzo	CBR	Penet.	Esfu.	CBR	Penet.	Esfu.	CBR
Carga Unitaria Patron	Corregida	Corregido	Corregido	Corregida	Corregido	Corregido	Corregida	Corregido	Corregido
Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%
70.31	2.54	50.46	71.77%	2.54	122.66	174.46%	2.54	130.14	185.10%
105.46	5.08	202.03	191.57%	5.08	263.03	249.41%	5.08	237.73	225.43%



Golpes	CBR		Densidad Seca	
	0.1"	0.2"		
55	71.77%	191.57%	2.11	gr/cm ³
26	174.46%	249.41%	2.00	gr/cm ³
11	185.10%	225.43%	1.91	gr/cm ³

	0.1"	0.2"
CBR al 100% DSM	157.36%	191.86%
CBR al 95% DSM	174.44%	203.46%

Dens. Máxima seca(gr/cm³)	2.11
95% de la DMS (gr/cm³)	2.00

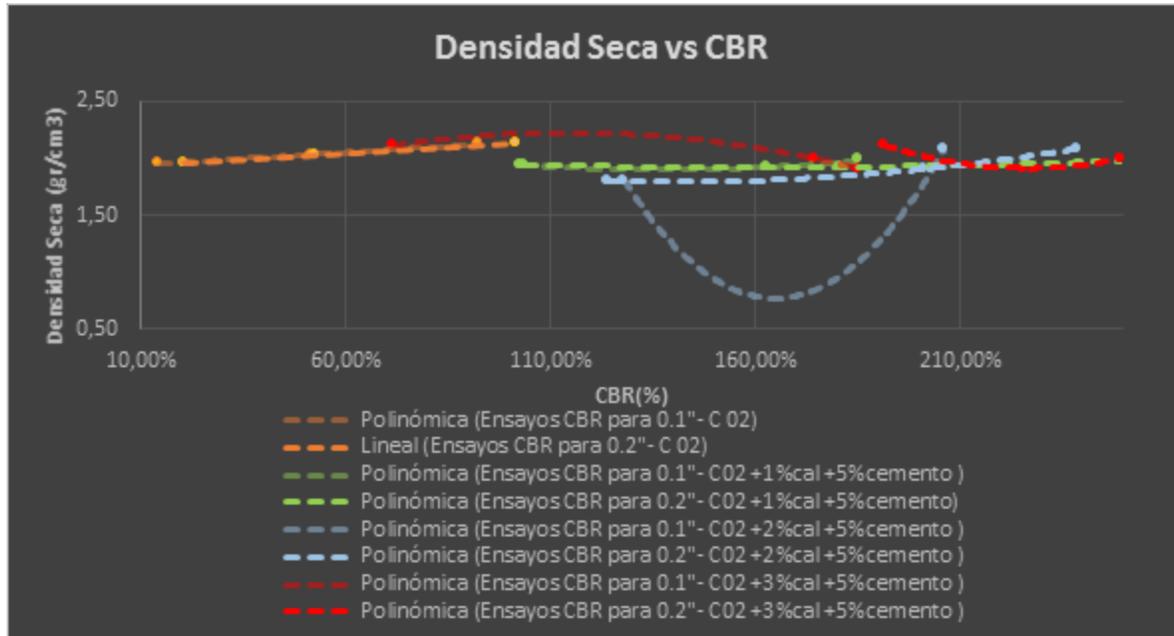


e) Calicata N°4-Suelo, más 1%cal y 5% cemento y 5% cemento, 2%cal y 5% cemento, 3 cal y 5% cemento

Tabla 101:

Comparativa de los Resultados de los Ensayos de CBR de la Calicata 04 – Suelo más Aditivos.

Calicata N° 04- Suelo Natural					Calicata N°04 - Suelo+ 1%cal y 5% cemento				
Número de Golpes	CBR		Dens. Seca Máxima		Número de Golpes	CBR		Dens. Seca Máxima	
	0.1"	0.2"				0.1"	0.2"		
55	92.41%	101.77%	2.13	gr/cm3	55	185.10%	253.65%	1.99	gr/cm3
26	51.90%	52.54%	2.04	gr/cm3	26	162.93%	180.61%	1.93	gr/cm3
11	9.73%	17.24%	1.96	gr/cm3	11	102.45%	103.49%	1.95	gr/cm3
Calicata N°04 - Suelo+ 2%cal y 5% cemento					Calicata N°04 - Suelo+ 3%cal y 5% cemento				
Número de Golpes	CBR		Dens. Seca Máxima		Número de Golpes	CBR		Dens. Seca Máxima	
	0.1"	0.2"				0.1"	0.2"		
55	206.26%	238.79%	2.09	gr/cm3	55	71.77%	191.57%	2.11	gr/cm3
26	203.30%	201.11%	1.91	gr/cm3	26	174.46%	249.41%	2.00	gr/cm3
11	128.08%	123.97%	1.80	gr/cm3	11	185.10%	225.43%	1.91	gr/cm3





3.6.8.2. Análisis de la Prueba

Lográndose observar en los resultados que el suelo en las cuatro calicatas, las calicatas número 01 y número 03 tienen un CBR bueno, las calicatas número 02 y número 04 tiene un CBR insuficiente y regular de suelo, pero al añadirlo con los porcentajes de cal y cemento aumenta significativamente el CBR% a niveles muy altos haciéndola una subrasante excelente en todas las muestras de calicata.

Tabla 102:

Cuadro de Análisis de la Prueba.

	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4
	CBR al 95% de la DSM (%)	CBR al 95% de la DSM (%)	CBR al 95% de la DSM (%)	CBR al 95% de la DSM (%)
Suelo natural	17.88%	5.30%	22.36%	9.85%
Suelo +1%cal+5%cemento	134.15%	62.48%	102.47%	80.55%
Suelo +2%cal+5%cemento	172.49	75.30%	161.00%	132.00%
Suelo +3%cal+5%cemento	141.46	73.67%	152.77%	174.44%



3.6.9. Análisis Estadístico

Para dar inicio al análisis de datos es necesario resumir los datos de las variables independientes (factores) y de las dependientes (respuestas), tal como se ve en la Tabla

Tabla 103:

Resumen de datos de las variables.

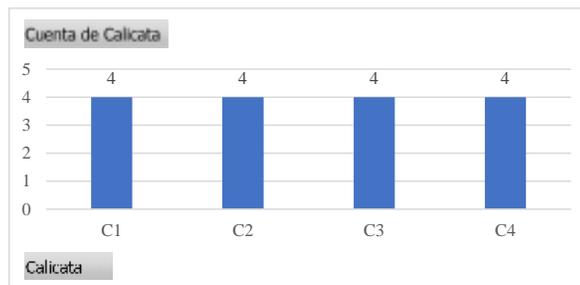
Calicata	Cal (%)	Cem (%)	IP (%)	Clasificación	W _{nat} (%)	COH (%)	DMS (g/cm ³)	CBR_0.1" (A1 100% DMS)	Expansión (%)
C1	0	0		GP	6.67	8.71	2.07	55.61	2.24
C1	1	5				8.7	2.06	134.15	0.04
C1	2	5				9.21	2.07	142.08	0.005
C1	3	5				10.93	2.08	137.67	0.006
C2	0	0	7.18	SC	7.64	13.83	1.81	7.4	2.1
C2	1	5	9.79			16.87	1.82	82.45	0.13
C2	2	5	11.53			15.1	1.82	101.06	0.02
C2	3	5	16.83			15.73	1.84	83.12	0.022
C3	0	0		GP	8.16	8.67	2.16	43.26	1.149
C3	1	5				10.45	2.17	181	0.045
C3	2	5				11.86	2.19	196.57	0.005
C3	3	5				12.18	2.19	183.22	0.006
C4	0	0	5.76	SC	8.66	13.83	1.81	60.36	4.065
C4	1	5	9.95			16.87	1.82	60.36	0.109
C4	2	5	13.91			15.1	1.82	188	0.131
C4	3	5	14.53			15.73	1.84	157.36	0.022

Fuente: resultados de los ensayos de laboratorio.

Sobre el número de muestras por calicata, se ha confeccionado siguiente la Figura 26 que muestra la estadística descriptiva pertinente.

Figura 26:

Número de muestras por calicata

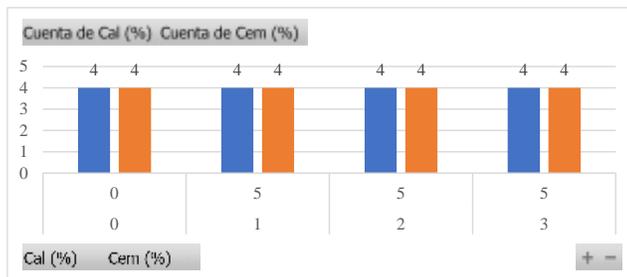


Fuente: resultados de los ensayos de laboratorio.

Conforme se aprecia, se han extraído cuatro muestras por calicata, haciendo un total de 16 muestras. Por otro lado, respecto del número de dosis aplicadas a las muestras ensayadas se tiene la Figura 27, que resume su estadística descriptiva.

Figura 27:

Estadística de las dosis aplicadas



Fuente: resultados de los ensayos de laboratorio.

Conforme se ve, para las distintas dosis tanto de cemento como de cal, se han aplicado cuatro dosis distintas que van de 0 a 3 (cuatro dosis) en el caso de la cal y de 0 a 5 (dos dosis) en el caso del cemento.

Ahora bien, lo que respecta a los ensayos de laboratorio, en particular al índice de plasticidad, se puede interpretar su estadística descriptiva a partir de la Tabla 103.

Tabla 104:

Estadística del índice de plasticidad.

Calicata	Clasificación
C1	GP
C2	SC
C3	GP
C4	SC

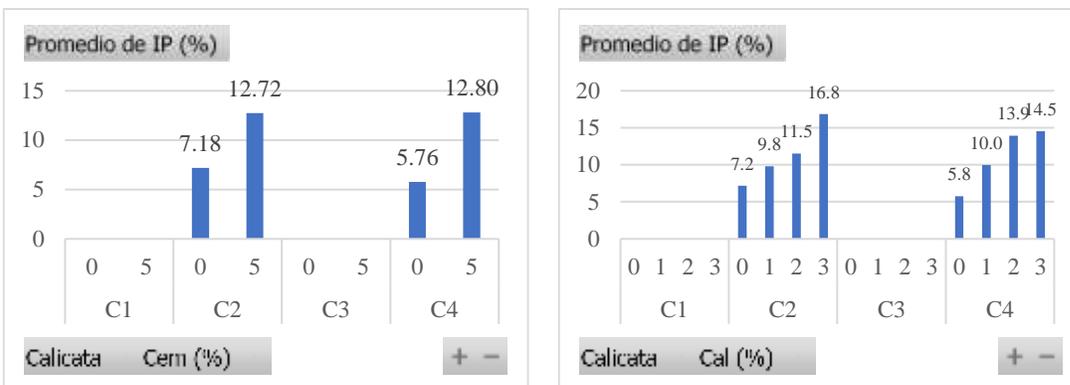
Fuente: resultados de los ensayos de laboratorio.

Conforme se observa, se han estudiado dos suelos de tipo GP y dos de tipo SC.

Seguidamente, ya en lo que respecta a los ensayos, particularmente a los resultados de índice de plasticidad, se puede plantear su estadística descriptiva a partir de la Figura 28.

Figura 28:

Estadística de los ensayos de índice de plasticidad.



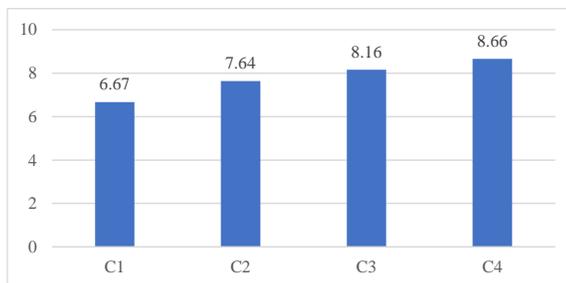
Fuente: resultados de los ensayos de laboratorio.

Conforme se aprecia, tanto en la calicata 1 como en la calicata 3, no se realizaron los ensayos de límites de consistencia en atención al tipo de suelo muestreado. Asimismo, como se ve, para las calicatas 2 y 4, el índice de plasticidad se eleva cuando se incrementa el cemento; igual fenómeno se aprecia cuando la incorporación de cal se lleva a cabo.

Por otra parte, en lo que respecta al contenido natural de humedad registrado para cada calicata, se puede plantear la Figura 4, la cual resume su estadística.

Figura 29:

Estadística del contenido natural de humedad de las muestras extraídas



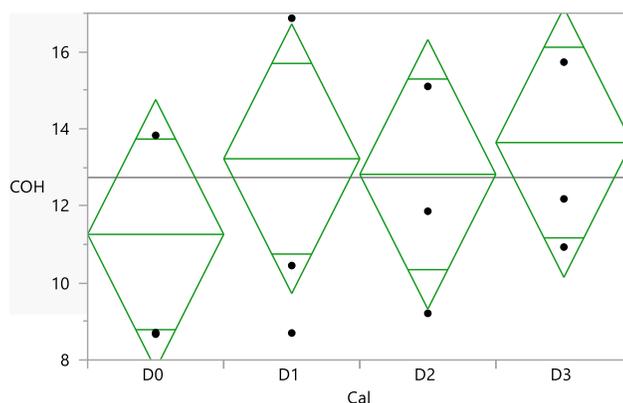
Fuente: resultados de los ensayos de laboratorio.

Conforme se evidencia, los contenidos de humedad de las cuatro calicatas son aproximadamente uniformes, siendo la humedad de la calicata 4 ligeramente mayor que las demás.

Ahora, se procede a evidenciar el efecto de la incorporación tanto del cemento como de la cal en el contenido óptimo de humedad de las muestras ensayadas, para este fin se aplicó el software la versión estudiantil del software JMP de la empresa SAS (www.jmp.com), los resultados de tal análisis se muestran a continuación en la Figura 30 y Tabla 104.

Figura 30:

Análisis univariante de COH con respecto a la Cal.



Fuente: Resultados de los ensayos de laboratorio, salida del software estadístico JMP.

Conforme se evidencia, el contenido óptimo de humedad crece ligeramente cuanto más cal se incorpora al suelo.

Tabla 105:

Análisis de varianza de COH con respecto a la Cal

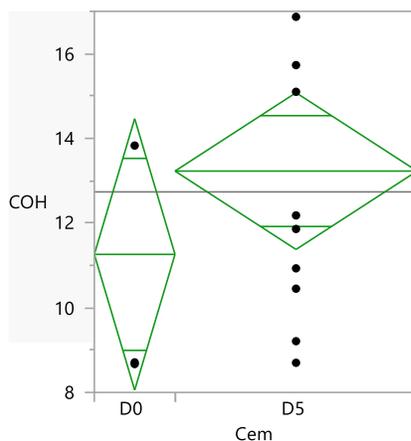
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Prob > F
Cal	3	12.97457	4.3249	0.4194	0.7424
Error	12	123.73103	10.3109		
C. Total	15	136.70559			

Fuente: Salida del software estadístico JMP.

Tal como se observa, la razón F del análisis de varianza es demasiado pequeña, lo cual quiere decir que la adición de cal no tiene un efecto estadísticamente significativo en la variación del contenido óptimo de humedad de los suelos ensayados. Para el caso del cemento, se tienen la Figura 31 y la Tabla 105.

Figura 31:

Análisis univariante de COH con respecto al cemento.



Fuente: Resultados de los ensayos de laboratorio, salida del software estadístico JMP.

Conforme se evidencia, el contenido óptimo de humedad crece ligeramente cuanto más cemento se incorpora al suelo.

Tabla 106:

Análisis de varianza de COH con respecto el cemento.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Prob > F
Cem	1	11.61317	11.6132	1.2997	0.2734
Error	14	125.09243	8.9352		
C. Total	15	136.70559			

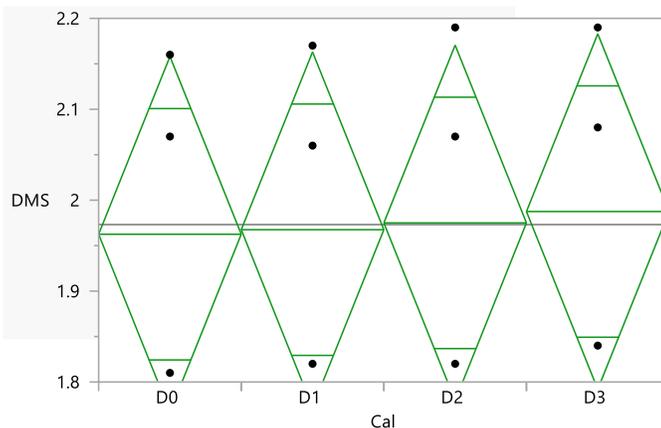
Fuente: Salida del software estadístico JMP.

Tal como se clarifica, la razón F del análisis de varianza es pequeña, lo cual quiere decir que la adición de cemento no tiene un efecto estadísticamente significativo en la variación del contenido óptimo de humedad de los suelos ensayados.

De similar modo, se procede a evidenciar el efecto de la incorporación tanto del cemento como de la cal en la densidad máxima seca de las muestras ensayadas, para este fin se aplicó el mismo procedimiento con el software JMP, las derivaciones de tal análisis se muestran a continuación en la Figura 32 y Tabla 106.

Figura 32:

Análisis univariante de DMS con respecto a la Cal.



Fuente: Resultados de los ensayos de laboratorio, salida del software estadístico JMP.

Tabla 107:

Análisis de varianza de DMS con respecto a la cal.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Prob > F
Cal	3	0.00141875	0.000473	0.0147	0.9974
Error	12	0.38652500	0.032210		
C. Total	15	0.38794375			

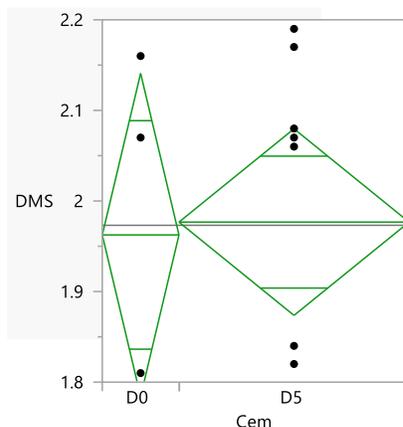
Fuente: Salida del software estadístico JMP.

Conforme se aprecia, no existe efecto significativo de la cal en la densidad, es decir la cal no afecta a la densidad, esto debido al valor demasiado pequeño del estadístico F.

De similar modo, para el cemento se tiene el análisis que se muestran a continuación en la Figura 33 y Tabla 107.

Figura 33:

Análisis univariante de DMS con respecto al cemento.



Fuente: Resultados de los ensayos de laboratorio, salida del software estadístico JMP.

Tabla 108:

Análisis de varianza de DMS con respecto el cemento.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Prob > F
Cem	1	0.00060208	0.000602	0.0218	0.8848
Error	14	0.38734167	0.027667		
C. Total	15	0.38794375			

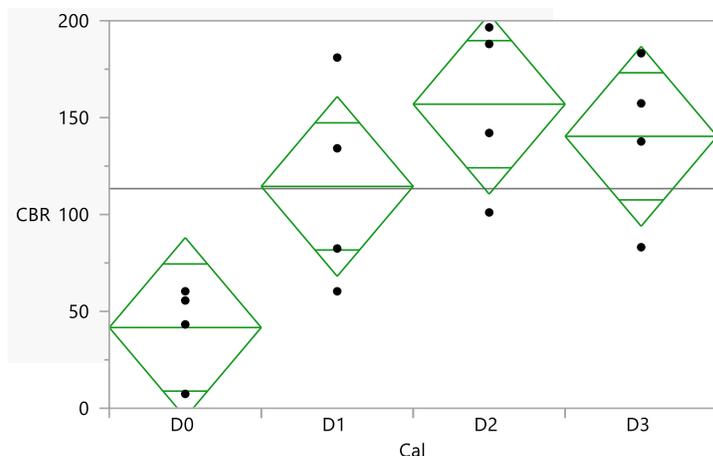
Fuente: Salida del software estadístico JMP.

Conforme se aprecia, no existe efecto significativo del cemento en la densidad, es decir no afecta a la densidad, esto debido también al valor demasiado pequeño del estadístico F.

A continuación, se procede a evidenciar el efecto de la incorporación tanto del cemento como de la cal en el CBR reportado al 100% de la densidad máxima seca y con una penetración de 0.1”, de las muestras ensayadas, para este fin se aplicó el mismo procedimiento con el software JMP, las evidencias de tal análisis se muestran a continuación en la Figura 34 y Tabla 108.

Figura 34:

Análisis univariante de CBR con respecto a la Cal.



Fuente: Resultados de los ensayos de laboratorio, salida del software estadístico JMP.

Tabla 109:

Análisis de varianza de CBR con respecto a la cal.

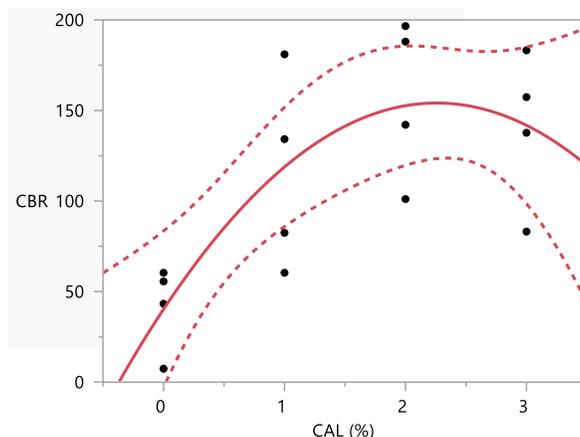
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Prob > F
Cal	3	31074.831	10358.3	5.7082	0.0115*
Error	12	21775.600	1814.6		
C. Total	15	52850.431			

Fuente: Salida del software estadístico JMP.

Conforme se aprecia, existe un efecto estadísticamente significativo de la cal en el CBR, esto se afirma en mérito a que el estadístico F es suficientemente grande. Se muestra que a mayor dosis de cal el CBR sube progresivamente, pero por encima de la dosis de 2% el CBR decrece evidenciando un comportamiento no lineal. Con esta evidencia se puede plantear el modelo matemático de la relación entre la dosis de cal y la resistencia CBR, esto se muestra en la Figura 35 y Tabla 109.

Figura 35:

Regresión no lineal del efecto de la cal en el CBR.



$$CBR = 90.5 + 33.9 * CAL(\%) - 22.4 * (CAL(\%) - 1.5)^2$$

R²=0.59 (las líneas punteadas representan el intervalo de confianza al 95%)

Fuente: Salida del software estadístico JMP.

Tabla 110:

Estimación de los parámetros del ajuste de la cal con el CBR.

Término	Estimación	Error estándar	Razón t	Prob > t
Constante del modelo	90.523469	21.4511	4.22	0.0010*
CAL (%)	33.84925	9.186007	3.68	0.0027*
(CAL (%) - 1.5) ²	-22.35438	10.27027	-2.18	0.0485*

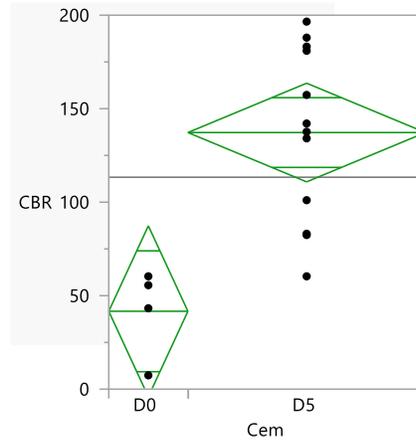
Fuente: Salida del software estadístico JMP.

Conforme se aprecia, los parámetros del modelo tienen significancia estadística, evidenciándose que el modelo representa correctamente el fenómeno, pues todos los p-value son menores a 0.05. En este punto cabe mencionar que el comportamiento del CBR con la cal muestra un máximo local que se da para la dosis de 2.29% de cal para alcanzar un CBR de 154.2.

De similar modo, para el cemento se tiene el análisis que se muestran a continuación en la Figura 11 y la Tabla 9.

Figura 36:

Análisis univariante de CBR con respecto al cemento.



Fuente: Resultados de los ensayos de laboratorio, salida del software estadístico JMP.

Tabla 111:

Análisis de varianza de CBR con respecto el cemento.

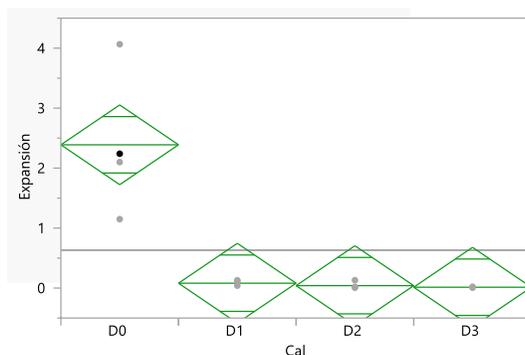
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Prob > F
Cem	1	27415.690	27415.7	15.0904	0.0017*
Error	14	25434.741	1816.8		
C. Total	15	52850.431			

Conforme se aprecia, existe efecto significativo del cemento en el CBR, siendo que el CBR aumenta considerablemente con la adición de cemento, esto sustentado también en el valor grande del estadístico F. La incorporación de 5% de cemento al suelo, permite el aumento del CBR desde 41.6 hasta 137.3.

De similar forma, se procede a demostrar el efecto de la incorporación tanto del cemento como de la cal en la expansión de las muestras ensayadas, para este fin se aplicó el mismo procedimiento con el software JMP, las derivaciones de tal análisis se muestran a continuación en la Figura 12 y Tabla 10.

Figura 37:

Análisis univariante de la expansión con respecto a la Cal.



Fuente: Resultados de los ensayos de laboratorio, salida del software estadístico JMP.

Tabla 112:

Análisis de varianza de la expansión con respecto a la cal.

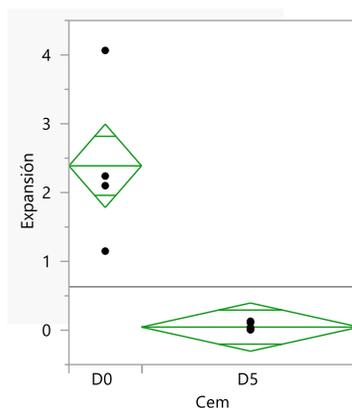
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Prob > F
Cal	3	16.483923	5.49464	14.7512	0.0002*
Error	12	4.469846	0.37249		
C. Total	15	20.953769			

Conforme se aprecia, y justificado en el alto valor del indicador F, existe efecto significativo de la cal en la expansión, reduciéndola desde su valor inicial de 2.4 hasta 0.014.

De similar modo, para el cemento se tiene el análisis que se muestran a continuación en la Figura 13 y Tabla 11.

Figura 38:

Análisis univariante de la expansión con respecto al cemento.



Fuente: Resultados de los ensayos de laboratorio, salida del software estadístico JMP.

Tabla 113:

Análisis de varianza de expansión con respecto el cemento.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Prob > F
Cem	1	16.474805	16.4748	51.4957	<.0001*
Error	14	4.478964	0.3199		
C. Total	15	20.953769			

Fuente: Salida del software estadístico JMP.

Conforme se aprecia, y permitido por el alto valor del indicador F, existe efecto significativo del cemento en la expansión, reduciéndola desde su valor inicial de 2.4 hasta 0.05.



3.6.10. Análisis de Costos Unitarios Estimados

Tabla 114:

Análisis de Costos Unitarios del Suelo con la Adición de Cal 1% y Cemento 5%.

NOMBRE DEL PROPONENTE: Frank Stewart Mondragon Cusihualpa					
PARTIDA: Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo fino en el tramo de la carretera Cusco - Paruro mediante el uso de cal al 1% y cemento 5%, 2021.					
RENDIMIENTO:					
		<i>m³/Día</i>	Costo Unitario por: m³	S/. 115.14	
Descripción del recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Operario	hh	1.0000	0.0080	23.44	0.19
Peón	hh	4.0000	0.0320	16.76	2.15
					2.33
Materiales					
Cal	kg		15.00	2.6	39
Cemento	kg		68.00	1.00	68
Agua	m3		0.0200	5.00	0.1
					107.1
Equipos					
Cisterna 4x2 (agua) 1,500 gal.	hm	0.5000	0.0040	180.00	0.36
Motoniveladora de 125 HP	hm	1.0000	0.0080	250.00	2.00
Rodillo liso Vibr. Autop. 70-100 hp 7-9t	hm	1.0000	0.0080	190.00	1.52
Cargador sobre llantas 125 Hp	hm	1.0000	0.0080	220.00	1.76
Herramientas manuales	% mo		3.0000	2.33	0.07
					5.71



Tabla 115:

Análisis de Costos Unitarios del Suelo con la Adición de Cal 2% y Cemento 5%.

NOMBRE DEL PROPONENTE: Frank Stewart Mondragon Cusihuallpa					
PARTIDA: Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo fino en el tramo de la carretera Cusco - Paruro mediante el uso de cal al 2% y cemento 5%, 20212.					
RENDIMIENTO:					
		$m^3/\text{Día}$		Costo Unitario por: m^3	S/. 154.24
Descripción del recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Operario	hh	1.0000	0.0080	23.44	0.19
Peón	hh	4.0000	0.0320	16.76	2.15
					2.33
Materiales					
Cal	kg		30.00	2.6	78
Cemento	kg		68.00	1.00	68
Agua	m3		0.0400	5.00	0.2
					146.2
Equipos					
Cisterna 4x2 (agua) 1,500 gal.	hm	0.5000	0.0040	180.00	0.36
Motoniveladora de 125 HP	hm	1.0000	0.0080	250.00	2.00
Rodillo liso Vibr. Autop. 70-100 hp 7-9t	hm	1.0000	0.0080	190.00	1.52
Cargador sobre llantas 125 Hp	hm	1.0000	0.0080	220.00	1.76
Herramientas manuales	% mo		3.0000	2.33	0.07
					5.71



Tabla 116:

Análisis de Costos Unitarios del Suelo con la Adición de Cal 3% y Cemento 5%.

NOMBRE DEL PROPONENTE: Frank Stewart Mondragon Cusihuallpa					
PARTIDA: Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo fino en el tramo de la carretera Cusco - Paruro mediante el uso de cal al 3% y cemento 5%, 2021.					
RENDIMIENTO:		m³/Día	Costo Unitario por: m³		S/. 193.34
Descripción del recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Operario	hh	1.0000	0.0080	23.44	0.19
Peón	hh	4.0000	0.0320	16.76	2.15
					2.33
Materiales					
Cal	kg		45.00	2.6	117
Cemento	kg		68.00	1.00	68
Agua	m3		0.0600	5.00	0.3
					185.3
Equipos					
Cisterna 4x2 (agua) 1,500 gal.	hm	0.5000	0.0040	180.00	0.36
Motoniveladora de 125 HP	hm	1.0000	0.0080	250.00	2.00
Rodillo liso Vibr. Autop. 70-100 hp 7-9t	hm	1.0000	0.0080	190.00	1.52
Cargador sobre llantas 125 Hp	hm	1.0000	0.0080	220.00	1.76
Herramientas manuales	% mo		3.0000	2.33	0.07
					5.71

Analizando que la capacidad de un molde de Proctor Modificado es de 0.028316 m³ (según la Norma Astm D1557), es posible cuantificar la cantidad de dosificación en m³ de las diferentes cantidades de cal 1,2,3% y cemento 5% en la carretera no pavimentada Cusco – Paruro por la ruta de Chimpahuaylla hasta el desvío de Mayubamba, en los 30 primeros kilómetros teniendo un ancho de 6.25 m aprox. y en una superficie de aplicación de 0.15 metros teniendo un volumen aproximado de 28125 m³.

Volumen de carretera Cusco - Paruro =28125 m ³	1%	2%	3%
Cal (m ³)	281.25 m ³	562.5 m ³	843.75 m ³
Volumen de carretera Cusco - Paruro =28125 m ³	5%		
Cemento (5%) (m ³)	1406.25 m ³		



Capítulo IV:

Resultados.

4.1. Ensayo de Clasificación de Suelos

Dado los resultados de la primera calicata, según la clasificación AASHTO se encuentra en el grupo A-1-b lo que resulta ser una arena fina (Buena a excelente) y según la clasificación SUCS es una grava limosa Arenosa (GM).

La segunda calicata nos dio como resultado según la clasificación AASHTO pertenece a la categoría A-4(2) un suelo Limoso arcilloso (pobre a regular) mientras la clasificación SUCS nos resulta un suelo Arena arcillosa (SC).

La tercera calicata según la clasificación AASHTO la muestra se encuentra en el grupo A-1-b significando una arena fina (buena a excelente) y según la clasificación SUCS es una grava limosa (GM).

La cuarta y última calicata según la clasificación AASHTO nos mostró que la muestra pertenecía al grupo A-4(2) un suelo limo arcilloso (pobre a regular), mientras que la clasificación SUCS la muestra resultaba ser una arena limosa arcillosa con grava (SC-SM).



Tabla 117:

Clasificación de Suelos de las Calicatas 01, 02, 03 y 04 según AASTHO.

	Suelos granulares 35% máximo que pasa por tamiz de 0.075 mm (N.º 200)							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.075 mm (N.º 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					
Análisis granulométrico % que pasa por el tamiz:												
2mm (Nº10)	Max 50											
0.425mm (Nº40)	Max 30	Max 50	Min 51									
F: 0.075 mm (Nº200)	Max 15	Max 25	Max 10	Max 35	Max 35	Max 35	Max 35	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	
Característica de la fracción que pasa por el tamiz (N.º 40)												
LL: Limite liquido				Max 40	Min 41	Max 40	Max 40	Max 40	Min 41	Max 40	Min 40	Min 41
IP: Índice de plasticidad	Max 6	Max 6	N.P.	Max 10	Max 10	Min 11	Min 10	Max 10	Max 10	Min 11	Min 11	Min 11
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas	Arenas finas	Gravas y arenas limos o arcillas				Suelos Limosos		Suelos arcillosos			
Estimación general del suelo como sub rasante	Excelente a bueno						Regular e insuficiente					

			Clasificación General	Tipo de Material Mas común	Clasificación de la subrasante
Según AASTHO		Calicata 01	A-1-b	Arena fina	Buena a Excelente
		Calicata 02	A-4(2)	Suelo Limoso arcilloso	Pobre a regular
		Calicata 03	A-1-b	Arena fina	Buena a Excelente
		Calicata 04	A-4(2)	Suelo Limoso arcilloso	Pobre a regular



Tabla 118:

Clasificación de Suelos de las Calicatas 01, 02, 03 y 04 según SUCS.

Criterios para la asignación de grupo y nombres de grupo con uso de pruebas de laboratorio				Clasificación de suelos		
				Símbolo	Nombre de grupo	
Suelos de partículas gruesas Mas de 50% retenido en la malla N°200	Gravas Mas del 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz N°4.	Gravas Limpias	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada	
		Gravas con finos más del 12% de finos	$Cu < 4$ y/o $1 \leq Cc \leq 3$	GP	Grava mal graduada	
	Arenas El 50% de la fracción gruesa pasa el tamiz N°4.	Arenas Limpias	Menos del 5% de finos	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada
				Los finos se clasifican como CL o CH	GC	Grava arcillosa
				Los finos se clasifican como ML o MH	SM	Arena Limosa
		Los finos se clasifican como CL o CH	SC	Arena Arcillosa		
Suelos de partículas finas El 50% o más pasa la malla N°200	Limos y Arcillas Limite Liquido menor que 50	Inorgánicos	$IP > 7$ se grafica en o arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad (ligera)	
			$IP < 4$ y se grafica en o arriba de la línea "A"	ML	Limo	
			Limite liquido secado en horno			
	Orgánicos	Limite liquido no secado		OL	Arcilla Orgánica	
		< 0.75				
	Limos y Arcillas Limite Liquido 50 o más.	Inorgánicos	IP se grafica en o arriba de la línea "A"	CH	Limo orgánico	
IP se grafica debajo de la línea "A"			MH	Arcilla Orgánica		
		Limite liquido secado en horno				
Orgánicos	Limite liquido no secado		OH	Limo orgánico		
	< 0.75					
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia inorgánica de color oscuro y con olor orgánico		PT	Turba		
Según SUCS		Calicata 01	GM	Grava limosa Arenosa		
		Calicata 02	SC	Arena Arcillosa		
		Calicata 03	GM	Grava Limosa Arenosa		
		Calicata 04	SC-SM	Arena Limosa Arcillosa con Grava		



4.2. Ensayo de Límites de Atteberg.

Con los resultados obtenidos de las pruebas podemos observar que la calicata 01 y la calicata 03 no presenta límites de Atteberg. Mientras que la calicata 02 muestra un índice de plasticidad de 7.18% (plasticidad media) y la calicata 04 muestra un índice de plasticidad de 5.76% (plasticidad baja), lo que hace que la calicata N°02 sea el suelo más desfavorable de las muestras.

El suelo más desfavorable de las muestras que es la calicata N°2 al añadirle con 1%, 2% y 3% cal y 5 % cemento, se pudo observar que aumenta ligeramente el Limite líquido y se reduce el límite Plástico, por consiguiente, también aumento ligeramente el índice de plasticidad de 7.18% a 16.83%, de igual manera la calicata 04 al añadirle con 1%,2% y 3% cal y 5% cemento aumenta ligeramente el índice de plasticidad de un 5.76% a un 14.53%. Esto se puede deber a la baja plasticidad del suelo lo que hace que la cal neutralice la reducción de la plasticidad haciendo que aumente ligeramente.

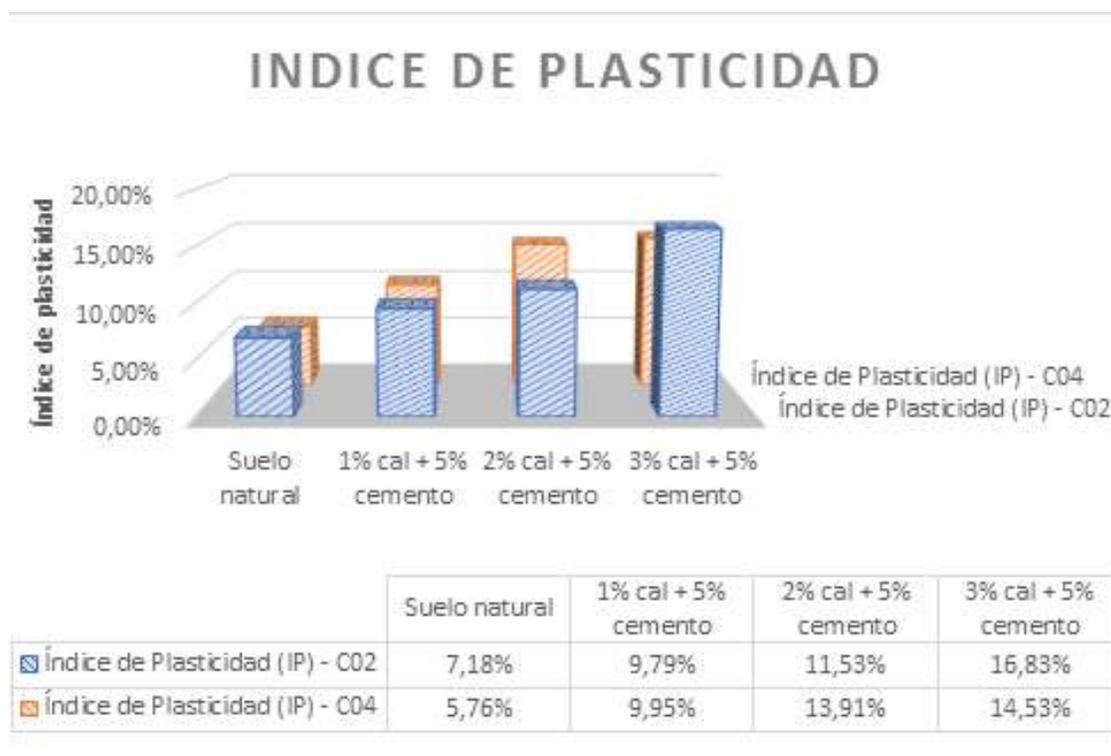
Tabla 119:

Resultado de Índice de Plasticidad de la Calicata 02 y Calicata 04 – Suelo más Aditivo.

Calicata 02	Suelo solo	Suelo + 1% cal +5% cemento	Suelo +2% cal +5% cemento	Suelo + 3% cal +5% cemento
Limite Liquido (LL)=	25.03%	32.96%	40.37%	40.25%
Limite Plástico (LP)=	18.82%	23.16%	28.84%	23.42%
Índice de Plasticidad (IP)=	7.18%	9.79%	11.53%	16.83%
Calicata 04	Suelo solo	Suelo + 1% cal +5% cemento	Suelo +2% cal +5% cemento	Suelo + 3% cal +5% cemento
Limite Liquido (LL)=	24.98%	31.8%	40.58%	35.72%
Limite Plástico (LP)=	19.21%	21.85%	26.67%	21.19%
Índice de Plasticidad (IP)=	5.76%	9.95%	13.91%	14.53%

Figura 39:

Resultado de Índice de Plasticidad Calicata 02 y Calicata 04, Suelos más Aditivos.



4.3. Ensayo Proctor Modificado (método A).

En las muestras de suelo de las cuatro calicatas, al añadirle 1%, 2%, 3% cal y cemento 5%, aumentan ligeramente en el contenido de humedad óptimo, la calicata número 01 aumento de 8.71% a 10.93%; la calicata número 02 aumento contenido de humedad de 13.83% a un 16.87%; la calicata número tres aumentos de igual manera de 8.67% a un 12.18%; la calicata número 04 aumento de un 7.60% a un 10.26% en su contenido de humedad óptimo.



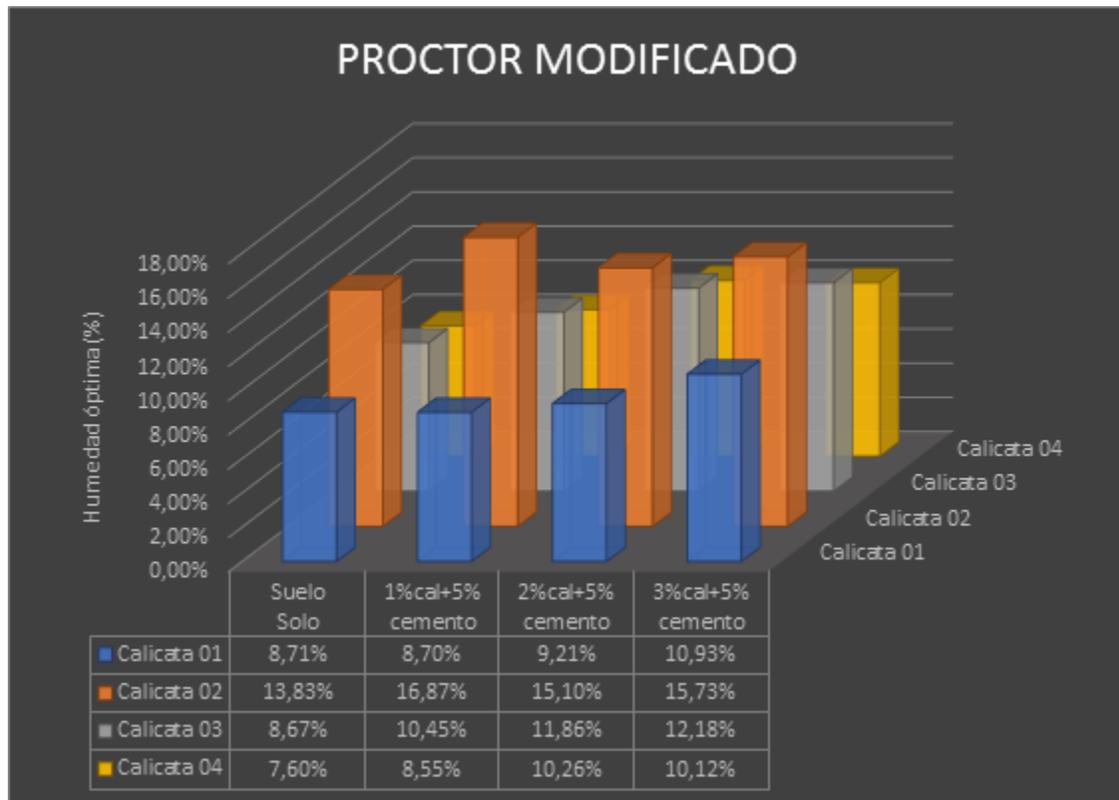
Tabla 120:

Resultados de Contenido de Humedad Optima y Densidad Seca Máxima de la Calicata 01;02;03 y 04 – Suelo más Aditivo.

Calicata 01	Suelo Solo	Suelo +1%cal+5% cemento	Suelo +2%cal+5% cemento	Suelo +3%cal+5% cemento
Contenido de humedad Optima (%)	8.71%	8.70%	9.21%	10.93%
Máxima Densidad Seca (gr/cm3)	2.07	2.06	2.07	2.08
Calicata 02	Suelo Solo	Suelo +1%cal+5% cemento	Suelo +2%cal+5% cemento	Suelo +3%cal+5% cemento
Contenido de humedad Optima (%)	13.83%	16.87%	15.1%	15.73%
Máxima Densidad Seca (gr/cm3)	1.81	1.82	1.82	1.84
Calicata 03	Suelo Solo	Suelo +1%cal+5% cemento	Suelo +2%cal+5% cemento	Suelo +3%cal+5% cemento
Contenido de humedad Optima (%)	8.67%	10.45%	11.86%	12.18%
Máxima Densidad Seca (gr/cm3)	2.16	2.17	2.19	2.19
Calicata 04	Suelo Solo	Suelo +1%cal+5% cemento	Suelo +2%cal+5% cemento	Suelo +3%cal+5% cemento
Contenido de humedad Optima (%)	7.60%	8.55%	10.26%	10.12%
Máxima Densidad Seca (gr/cm3)	2.09	2.12	2.13	2.11

Figura 40:

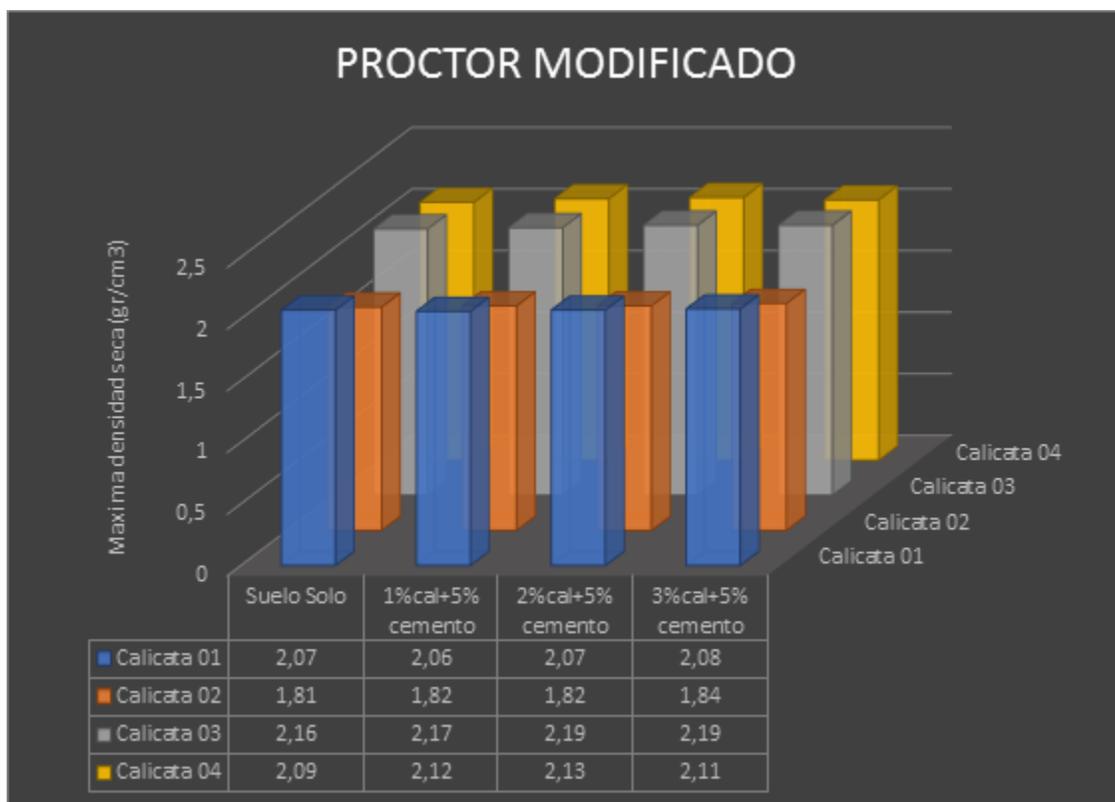
Resultado del Contenido de Humedad Optimo de la Calicata 01; 02; 03 y 04, suelo más Aditivo.



En las muestras de suelo según a la máxima densidad seca se ha observado un pequeño aumento, del suelo de la calicata número 01 que tenía una máxima densidad seca de 2.07 gr/cm³ al añadirle los aditivos de 1%,2%,3% cal y 5% cemento, aumentando a una máxima densidad seca de 2.08 gr/cm³, de igual manera sucede con la calicata número 02 al añadirle los aditivos aumenta su densidad seca máxima de 1.81 gr/cm³ a un 1.84 gr/cm³, la calicata número 03 aumenta de 2.16 gr/cm³ a un 2.19 gr/cm³ y la calicata número 04 aumenta de una densidad seca máxima de 2.09 gr/cm³ a una densidad seca máxima de 2.13 gr/cm³

Figura 41:

Resultado de la Densidad Máxima seca de la Calicata 01; 02; 03 y 04, Suelo más Aditivo.

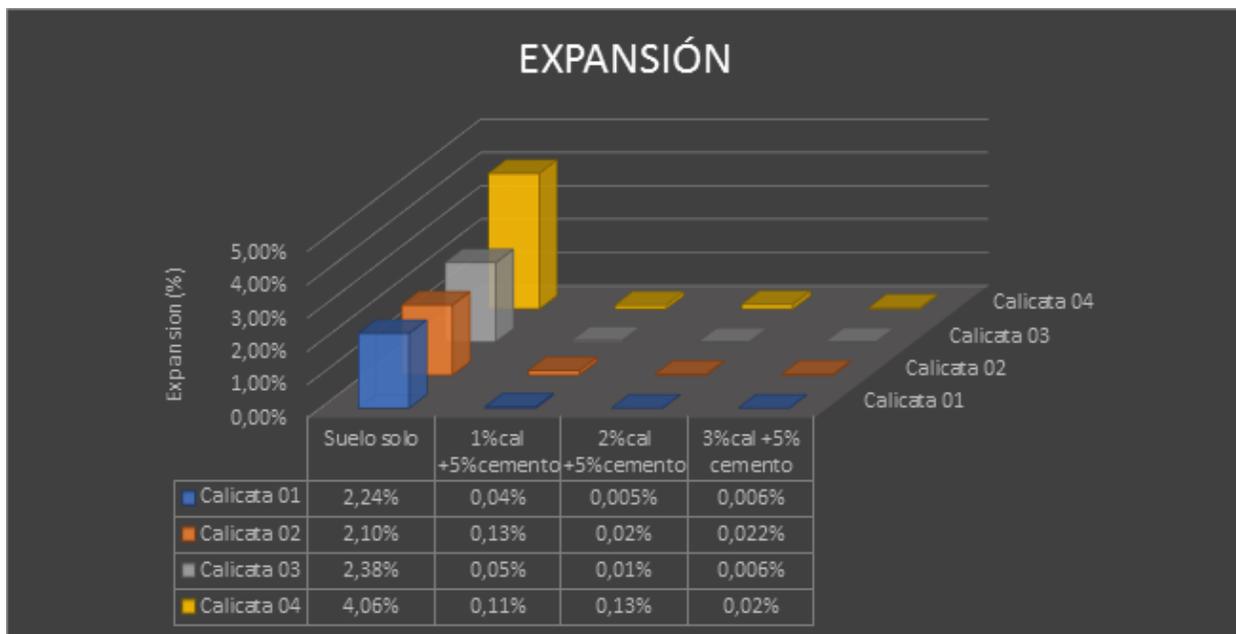


4.4. Ensayo de CBR

Según el ensayo de expansión, se pudo reducir en gran medida el porcentaje de expansión de las cuatro calicatas, el suelo de la calicata número 01 sin adicionar ningún aditivo es de 2.24% reduciendo a un 0.006% al añadirle la cal y el cemento, de igual manera se redujo la expansión de la calicata número 02, sin aditivo tiene un valor de 2.1% al adicionarle los aditivos llega a un valor de 0.22% de expansión. La calicata número 03 se redujo de un 2.38% a un 0.05% de expansión, la calicata número 4 también tuvo una reducción el nivel de expansión, reduciéndose del valor de 4.06% a un 0.022% de expansión a las 96 horas.

Figura 42:

Resultado de Expansión de la Calicata 02, Suelo más Aditivo.



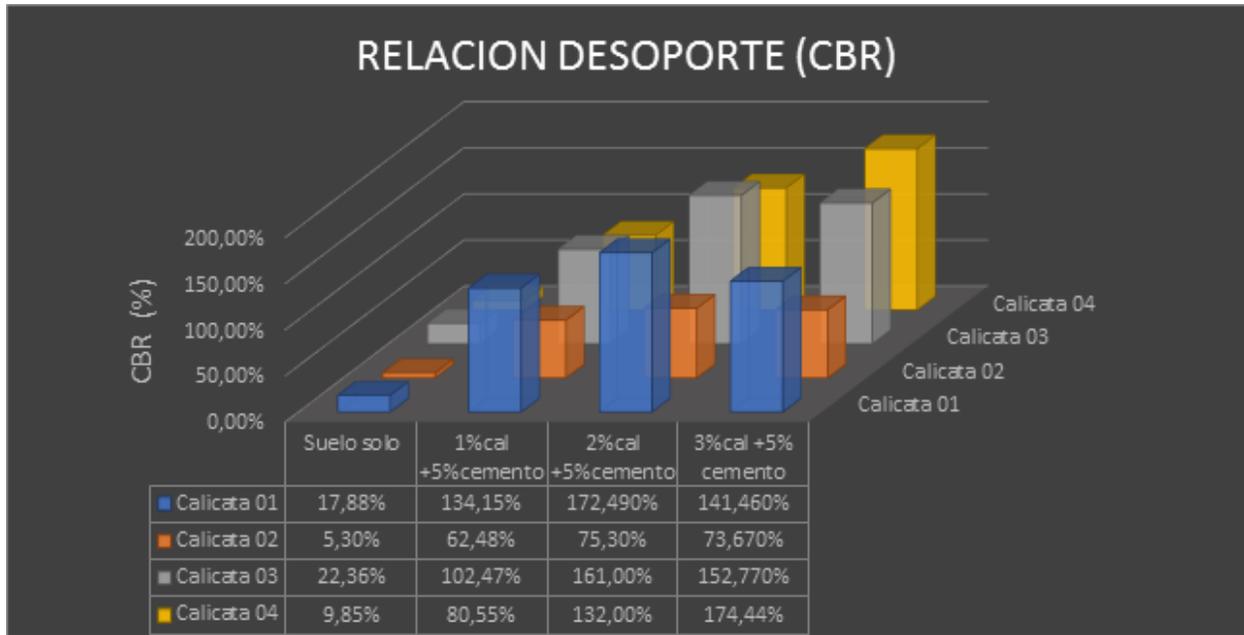
El suelo de las calicatas 01; 02; 03 y 04 muestra un aumento en gran medida al adicionarles 1%, 2%, 3% cal y 5% cemento. El suelo natural de la calicata 01 tiene un valor de 17.88% al 95%DMS al añadirle los aditivos aumenta su valor a un 141.46%.

El suelo más desfavorable de las muestras que es la calicata 02, este suelo solo tiene un CBR de 5.30% al 95%DMS siendo una subrasante insuficiente, al adicionarle los aditivos aumento hasta llegar a 73.67% volviéndose una subrasante excelente. La calicata número 03 como suelo natural al 95% DMS tiene un CBR de 22.36 % al adicionarle la cal y el cemento aumenta su valor hasta llegar a un valor de 152.77%. De igual manera la calicata número 04 el CBR al 95% DMS del suelo natural es 9.85% al adicionarle la cal aumenta el valor de CBR llegando a un valor de 174.44%.



Figura 43:

Resultado de CBR de la Calicata 01;02;03 y 04, Suelo más Aditivo.





Capítulo V:

Discusión.

- ✓ Tal como se muestra en el antecedente N°1 al adicionarle el cemento 1, 3, 5% logra reducir el índice de plasticidad de 44% a 15% en cambio en el presente estudio al adicionarle cal 1, 2, 3% y cemento 5% no disminuye el índice de plasticidad aumenta ligeramente esto se debe a que al adicionarle la cal neutraliza la reducción haciéndola que aumente.

- ✓ En el antecedente N°2 se observa que al adicionarle al suelo cal en 8% consiguió aumentar el índice de plasticidad de 1.02% hasta 7.32% lo mismo ocurre en esta presente investigación al adicionarle cal 1, 2, 3% y cemento 5%, ya que se debe a la baja plasticidad que tiene el suelo natural haciendo que la cal aumente ligeramente el índice de plasticidad. También se puede ver el aumento significativo en el CBR al adicionarle 8% de cal hasta llegar a 145% de CBR, un aumento similar que ocurre en esta presente investigación al adicionarle cal 1, 2, 3% y cemento 5%.

- ✓ En el antecedente N°3 se puede observar que se tiene una ligera reducción en la propiedad física, que es la plasticidad de 15.01% a 12.75% con una adición de 12% de cemento. En cambio, como se mostró en el presente trabajo, no obtuvimos una disminución del índice de plasticidad, sino un aumento en nuestro índice de plasticidad, volviendo a pensar que la cal es el aditivo que pudo alterar esta reducción.



- ✓ Según al antecedente N°4 al adicionarle al suelo cohesivo cal hidratada en porcentajes hasta 12% se obtuvo una reducción del índice de plasticidad 26% hasta 9%, también se aumentó la capacidad de soporte del suelo de 16.28% hasta llegar a 57.2%. En cambio, en esta presente investigación adicionando al suelo cal 1,2,3% y cemento 5% obtuve un ligero aumento del índice de plasticidad, se puede deber, ya que el suelo estudiado tiene bajo índice de plasticidad; pero si se obtuvo un elevación de la capacidad de soporte de 5.30% llegando hasta 75.30% de CBR en la calicata número 02 que es el suelo más desfavorable.



Glosario

AASHTO: American Association of state highway and transportation officials o Asociación Americana de oficiales de carreteras estatales y transportes

ASTM: American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana para pruebas y materiales

CBR: Californian Bearing Ratio o Capacidad de soporte

CE: Componentes estructurales

Contenido óptimo de Humedad: es el contenido de agua el cual un suelo puede ser compactado al máximo.

Densidad: Relación entre el peso de una sustancia y el volumen que ocupa este.

DMS: Densidad Máxima seca

Estabilización de suelos: Mejoramiento de las cualidades de suelos naturales arcillosos, aumentando la resistencia y reduciendo la plasticidad.

ICG: Instituto de la construcción y gerencia

Límite líquido: Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido

Límite plástico: Cuando un suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico.

NTP: Norma técnica peruana

MTC: Ministerio de transportes y comunicaciones

Prueba Proctor: Determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por el procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad

SUCS: Sistema Unificado de clasificación de suelos

Subrasante: Terreno base de formación de los pavimentos, pudiendo ser el terreno natural del corte o el nivel superior del relleno de préstamo apropiadamente compactado.

Conclusiones

Conclusión General

Se alcanzó demostrar la hipótesis general (Las propiedades físico-mecánicas mejorarán al adicionarle cal a porcentajes 1, 2, 3 % y cemento 5% en el suelo fino de la carretera de Cusco – Paruro, en el año 2021): Se concluye con el mejoramiento de las propiedades como la densidad máxima seca y la relación de CBR, el porcentaje óptimo sería 2% de cal y 5% cemento para poder mejorar las propiedades con las mejores condiciones de suelo de la carretera cusco-Paruro y cumplir con los parámetros del MTC a nivel de sub rasante y la norma técnica Peruana CE.010 (Pavimentos Urbanos).

Tabla 121:

Conclusión General - Resultados de los Ensayos.

Suelo (Calicata 01)	Índice de plasticidad (%)	Densidad máxima seca (gr/cm ³)	Ensayo de expansión (%)	CBR (%)
Suelo solo	-	2.07	2.24%	17.88%
Suelo + 1%cal +5%cemento	-	2.06	0.04%	134.15%
Suelo + 2%cal +5%cemento	-	2.07	0.005%	172.49%
Suelo + 3%cal +5%cemento	-	2.08	0.006%	141.46%
Suelo más desfavorable (Calicata 02)	Índice de plasticidad (%)	Densidad máxima seca (gr/cm ³)	Ensayo de expansión (%)	CBR (%)
Suelo solo	7.18%	1.81	2.1%	5.30%
Suelo + 1%cal +5%cemento	9.79%	1.82	0.13%	62.48%
Suelo + 2%cal +5%cemento	11.53%	1.82	0.02%	75.30%
Suelo + 3%cal +5%cemento	16.83%	1.84	0.02%	73.67%
Suelo (Calicata 03)	Índice de plasticidad (%)	Densidad máxima seca (gr/cm ³)	Ensayo de expansión (%)	CBR (%)
Suelo solo	-	2.16	2.38%	22.36%
Suelo + 1%cal +5%cemento	-	2.17	0.05%	102.47%
Suelo + 2%cal +5%cemento	-	2.19	0.01%	161%
Suelo + 3%cal +5%cemento	-	2.19	0.006%	152.77%
Suelo (Calicata 04)	Índice de plasticidad (%)	Densidad máxima seca (gr/cm ³)	Ensayo de expansión (%)	CBR (%)
Suelo solo	5.76%	2.09	4.06%	9.85%
Suelo + 1%cal +5%cemento	9.95%	2.12	0.11%	80.55%
Suelo + 2%cal +5%cemento	13.91%	2.13	0.13%	132%
Suelo + 3%cal +5%cemento	14.53%	2.11	0.02%	174.44%



Conclusión N°01

No se pudo demostrar la sub hipótesis N°1 (Las propiedades de plasticidad mejorarán al adicionarle cal a porcentajes 1,2,3 % y cemento 5% en el suelo fino de la carretera de Cusco – Paruro, en el año 2021): Al momento de añadirle la cal y el cemento conjuntamente al suelo de la calicata 02 (suelo más desfavorable) y la calicata 04, el índice de plasticidad aumenta ligeramente según al porcentaje de cal que incrementábamos ,esto se debe a que el suelo tiene un bajo índice de plasticidad lo que hace que la cal neutralice la disminución y tienda a aumentar un poco el índice de plasticidad como se puede ver los resultados.

Tabla 122:

Conclusión 01 - Resultados del Ensayo de Plasticidad.

Suelo más desfavorable	Suelo solo	Suelo + 1%cal + 5%cemento	Suelo +2%cal +5%cemento	Suelo + 3%cal +5%cemento
Calicata 02				
Índice de Plasticidad (%)	7.18%	9.79%	11.53%	16.83%
Suelo más desfavorable	Suelo solo	Suelo + 1%cal + 5%cemento	Suelo +2%cal +5%cemento	Suelo + 3%cal +5%cemento
Calicata 04				
Índice de Plasticidad (%)	5.76%	9.95%	13.91%	14.53%

Conclusión N°02

Se pudo demostrar la sub hipótesis N°2 (La densidad seca máxima mejorará al adicionarle cal a porcentajes 1,2,3 % y cemento 5% en el suelo fino de la carretera de Cusco – Paruro, en el año 2021) : Ya que al adicionarle la cal y el cemento conjuntamente a diferentes porcentajes, la densidad máxima seca aumenta ligeramente su valor lo que también hizo que aumente su contenido de humedad óptima como se puede observar los resultados.



Tabla 123:

Conclusión 02 – Resultado de Densidad Máxima Seca.

	Calicata 01		Calicata 02		Calicata 03		Calicata 04	
	Contenido de humedad Optima (%)	Máxima Densidad Seca (gr/cm3)	Contenido de humedad Optima (%)	Máxima Densidad Seca (gr/cm3)	Contenido de humedad Optima (%)	Máxima Densidad Seca (gr/cm3)	Contenido de humedad Optima (%)	Máxima Densidad Seca (gr/cm3)
Suelo solo	8.71%	2.07	13.93%	1.81	8.67%	2.16	7.6%	2.09
+1%cal+5%cemento	8.70%	2.06	16.87%	1.82	10.45%	2.17	8.55%	2.12
+2%cal+5%cemento	9.21%	2.07	15.1%	1.82	11.86%	2.19	10.26%	2.13
+3%cal+5%cemento	10.93%	2.08	15.73%	1.84	12.18%	2.19	10.12%	2.11

Conclusión N°03

Se logró demostrar la sub hipótesis N°3 (Soporte California CBR mejorará en al adicionarle cal a porcentajes 1,2,3 % y cemento 5% en el suelo fino de la carretera de Cusco – Paruro, en el año 2021): En los resultados se pudo observar que el suelo de las cuatro calicatas incluyendo a la calicata 02 (suelo más desfavorable), al adicionarle cal y el cemento conjuntamente a diferentes porcentajes, disminuye el porcentaje de expansión; aumenta y mejora significativamente la capacidad de soporte logrando satisfacer una característica de una “subrasante excelente” cumpliendo así los parámetros del MTC como se puede observar en estos resultados.

Tabla 124:

Conclusión 03 – Resultado de la Relación CBR.

	Calicata 01		Calicata 02		Calicata 03		Calicata 04	
	Ensayo de expansión (%)	CBR (%)						
Suelo solo	2.24%	17.88%	2.10%	5.30%	2.38%	22.36%	4.06%	9.85%
+1%cal+5%cemento	0.04%	134.15%	0.13%	62.48%	0.05%	102.47%	0.11%	80.55%
+2%cal+5%cemento	0.005%	172.49%	0.02%	75.30%	0.01%	161.00%	0.13%	132.00%
+3%cal+5%cemento	0.006%	141.46%	0.22%	73.67%	0.006%	152.77%	0.02%	174.44%



Recomendaciones

Recomendación N°1 Se recomienda a los ingenieros profesionales y/o estudiantes que, se debería determinar su estructura mineralógica a partir de pruebas adecuadas como la cristalografía de rayos x, para tener una investigación más exacta de la conducta de los suelos arcillosos.

Recomendación N°2 Se recomienda a los ingenieros profesionales y/o estudiantes que, para este tipo de suelo de carretera, un estudio adicionando otro aditivo que puede mejorar la propiedad física de estos suelos y que pueda trabajar conjuntamente con el cemento, para poder evitar el incremento del índice de plasticidad provocada por la aplicación incrementada de la cal a 1% 2% y 3% en suelos de bajo índice de plasticidad.

Recomendación N°3 Se recomienda a los ingenieros profesionales y/o estudiantes que, para este tipo de suelo de carretera, aplicar 2% de cal y 5% cemento, para obtener resultados favorables en la estabilización con respecto la densidad máxima seca del suelo con estos dos aditivos, ya que estos porcentajes presentan un mejor comportamiento con la densidad máxima seca aumentándola ligeramente con la adición conjunta de la cal y el cemento.

Recomendación N°4 Se recomienda a los ingenieros profesionales y/o estudiantes que, para este tipo de suelo de carretera, usar 2% de cal y 5% cemento, para obtener resultados favorables en el mejoramiento con respecto a la relación CBR del suelo más desfavorable (calicata 02) con estos dos aditivos, ya que estos porcentajes exhibe mejor comportamiento con el CBR llegando a incrementar de 5.60% (subrasante insuficiente) a 75.30% (subrasante excelente) con la adición conjunta de la cal y el cemento.



Referencias

- Arias, J. (2020). *Métodos de investigación online*. Arequipa – Perú: José Luis Arias Gonzales. [ArchivoPDF].https://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/2237/1/AriasGonzales_MetodosDeInvestigacionOnline_libro.pdf
- Alva, A. (s.f.). *Análisis de los datos e interpretación de los resultados*. [Archivo PDF]. https://cmaspUBLIC2.ihmc.us/rid=1177276899217_1477413697_5143/analisdatosinterpretac-1.pdf.
- Arias, J; Covinos, M. (2021). *Diseño Metodológico de la investigación*. Arequipa, Perú: Enfoques Consulting EIRL.
- Altamirano, G.; Diaz, A. (2015). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de Cal en las vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosi-Rivas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/6456/1/51667.pdf>
- Aguilar, H.; Bravo, J. (2020). *Evaluación de la ceniza de fondo para la estabilización de suelos arcillosos provenientes de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo-Cusco*. [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. http://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/UAC/3605/1/Hugo_Juan_Tesis_bachiller_2020.pdf
- Álvarez, A; Gaytan, L; Huanilo, Y; Mendoza, A; Maguiña, S y Rosas, G (2015). Ensayo de Limite líquido y limite plástico. Límites de Atteberg, Universidad Cesar Vallejo. <https://es.slideshare.net/AngeloAlvarezSifuentes/informe-demecanicadesueloslaboratorionumero2-ensayo-de-lmite-lquido-y-lmite-plstico>
- Behar, D. (2008). *Metodología de la investigación*. Colombia: Editorial Shalom 2008.



Bowles, J. (1981). *Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil*. México: McGRAW-HILL

Braja, D. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: THOMSON LEARNING

Badillo J; Rodriguez R. (2005). *Mecánica de suelos. Tomo I*. México: LIMUSA

Crespo, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: LIMUSA

Callo, D.; Condori; F. (2020). *Análisis de estabilización de suelos tropicales con cal para afirmados en la zona de kiteni – Distrito de Echarate – provincia de la convención de la región de cusco, 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco].

Cruzado, C. (2019). *Mejoramiento de la subrasante de baja capacidad portante mediante la cal en la carretera Puente Palma La Oroya*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/47261>

Dos comerciantes murieron en accidente en la vía Cusco – Paruro. (30 de septiembre del 2013). *RPP*. <https://rpp.pe/peru/actualidad/dos-comerciantes-murieron-en-accidente-en-la-via-cusco-paruro-noticia-635503?ref=rpp>

Dirección regional de transportes y comunicaciones Cusco (Drtcc). (2021). *Mantenimiento periódico de la red vial Departamental no pavimentada CU-123, Tramo: San Jeronimo – Desvió Mayumbamba*. Expediente técnico, (Drtcc).

Google earth. (s.f.-a). [Carretera Cusco - Paruro]. Recuperado el 25 de marzo de 2022.

Google earth. (s.f.-b). [Cusco – Provincia de Cusco]. Recuperado el 25 de marzo de 2022.

Google earth. (s.f.-c). [Cusco – Provincia de Cusco]. Recuperado el 25 de abril de 2022.

Google earth. (s.f.-d). [Cusco – Provincia de Cusco]. Recuperado el 10 de abril de 2022.

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 de Pregrado, Universidad



Catolica de Colombia].

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23731/1/Suelo%20cemento-%20Tesis.pdf>.

Garcia, E; Suarez, M. (2008). *Las arcillas: propiedades y usos* (), pp 5-7.
http://nutritime.com.br/arquivos_internos/artigosBK/Arcillas_%20propiedades%20y%20usos.pdf.

Hernández, R.; Fernández C. Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.

INACAL (2018). *Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. Perú: INACAL (Dirección de normalización).

Kraemer et al. (2004). *Ingeniería de carreteras*. Madrid, España: McGraw-Hill.

LIME (Nacional Lime Association). (2004). *Manual de estabilización de suelos tratado con cal*. U.S.A: LIME

Lopez, J.; Ortiz, G. (2018). *Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización San Luis de la ciudad de Abancay*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes].
<http://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/handle/utea/152/Tesis-Estabilizaci%C3%B3n%20de%20suelos%20arcillosos%20con%20cal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Leite et al. (2016). Lime Stabilization of expansive soil from Sergipe-Brazil (4).pp 1-2.
https://www.researchgate.net/publication/308038067_Lime_stabilization_of_expansive_soil_from_Sergipe_-_Brazil.



- Laguros, J; Davison D. (1984). *Effect of chemical on soil-Cement Stabilization*. Ohio-U.S.A: Ohio University.
- Marroquín, R. (2012). *Metodología de la investigación* [Archivo PDF].
http://www.une.edu.pe/Sesion04-Metodologia_de_la_investigacion.pdf
- MTC (Ministerio de transportes y comunicaciones, Perú). (2014). *Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección suelos y Pavimentos*. R.D. N.º 10 – 2014 – MTC/2014.Lima, Perú, MTC. abr. 2014.
- MTC (2016). *Manual de ensayos de materiales*. Perú: ICG (Instituto de la construcción y gerencia)
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá: Stella Valbuena de Fierro.
- Moale, A; Rivera; E. (2019). *Tesis estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica*. Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Ministerio del ambiente (2014). *Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013 - 2014*.
<https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>
- Murcia Salud. (2022). *Materia particulada (PM10 y PM2,5)*. Consejería de salud de la región de Murcia.[https://www.murciasalud.es/pagina.php?id=244308&#:~:text=Las%20part%C3%ADculas%20tienen%20en%20una,a%20%2C5%20micras\)](https://www.murciasalud.es/pagina.php?id=244308&#:~:text=Las%20part%C3%ADculas%20tienen%20en%20una,a%20%2C5%20micras)).
- Neville, A; Brooks, J. (2010). *Concrete technology*. 2 ed. Malaysia: PEARSON.
- Otero, A. (2018). *Enfoques de investigación*. Colombia: Universidad del Atlántico
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú*. Lima, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú.



- Quezada, S. (2017). *Estudio Comparativo de la estabilización de suelos arcillosos con valvas de moluscos para pavimentación*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Piura].
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3207/ICI_242.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Ramos, C. (2020). *Los alcances de una investigación*. Ecuador: Los alcances de una investigación.
- Sanjuan, M; Chinchón, S. (2004). *Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland*. España: UNE.
- Sánchez, F. (2016). *Materiales para base y subbase* [Diapositiva PowerPoint].
<https://es.slideshare.net/castilloaroni/mdulo-7-materiales-para-base-y-subbase-fernando-sanchez-sabogal>
- Sowers, GB; Sowers, GF. (1972). *Introducción a la Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: LIMUSA -WILEY
- Tam, J.; Vera, G.; Oliveroz, R. (2008). *Tipos, Métodos y Estrategias de investigación científica. Pensamiento y acción. Escuela de post grado (5)*, pp 145-154.
http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/articulos/imarpe/oceanografia/adj_modela_pa-5-145-tam-2008-investig.pdf
- Tomayo, C; Silva, I. *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*. [Archivo PDF].
<https://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/22.pdf>.
- Tres mueren tras caída de auto a un abismo en dan jerónimo. (29 de enero de 2017). *El Comercio*.
<https://elcomercio.pe/peru/cusco/cusco-3-mueren-caida-auto-abismo-san-jeronimo-161790-noticia/>



- USACE (1984). *Soil Stabilization for Pavements Mobilization Construction*. Washington-U.S. A: U.S. Army Corps of Engineers.
- Velásquez, C. (2018). *Influencia del cemento portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://1library.co/document/qo5n54ky-influencia-cemento-portland-estabilizacion-arcilloso-subrasante-avenida-dinamarca.html>
- Venkatramaiah, C. (2006). *Geotechnical Engineering*. Nueva Delhi, India: New Age International, Publishers.
- Yura. (2020). *Cemento IP Multi-Propósito, Ficha técnica*. <https://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/2021/02/ficha-tecnica-ip-cemento-multiproposito-yura.pdf>
- Yepes, V. (2019). *Control de calidad de la compactación de un suelo*. Editorial Universitat Politècnica de València. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/03/08/control-de-calidad-de-la-compactacion-de-un-suelo/>



Anexos

Tabla 125:

Matriz de Consistencia.

Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo fino en el tramo de la carretera Cusco - Paruro mediante el uso de cal al 1, 2,3 % y cemento 5%, 2021.						
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES			POBLACION Y MUESTRA
			Independientes	DIMENSIONES	INDICADORES	
¿En qué medida mejora las propiedades físico-mecánicas del suelo fino de la carretera Cusco – Paruro al adicionarle cal al 1, 2, 3% y cemento 5% en el año 2021?	Evaluar en qué medida mejora las propiedades físico – mecánicas del suelo fino de la carretera Cusco – Paruro al adicionarle cal a porcentajes de 1, 2, 3% y cemento 5% en el año 2021	Las propiedades físico-mecánicas mejorarán al adicionarle cal a porcentajes 1, 2, 3 % y cemento 5% en el suelo fino de la carretera de Cusco – Paruro, en el año 2021.	<ul style="list-style-type: none"> Cal hidratada 	-Características de la cal -Contenido de humedad -Porcentaje de cal	-Propiedades físicas de la cal. -Propiedades químicas de la cal.	POBLACION -Carretera Cusco - Paruro
			<ul style="list-style-type: none"> Cemento Portland tipo IP 	-Características del cemento -Contenido de humedad -Porcentaje de cemento	-Propiedades físicas del cemento. -Propiedades químicas del cemento.	MUESTRA -Cuatro calicatas excavadas 1.5 m de la carretera Cusco – Paruro.



PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECIFICA	Dependientes	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿En qué medida mejora las propiedades de plasticidad del suelo fino de la carretera Cusco – Paruro al adicionarle cal al 1, 2, 3% y cemento 5% en el año 2021?	Determinar en qué medida mejora las propiedades de plasticidad del suelo fino de la carretera Cusco – Paruro al adicionarle cal a porcentajes de 1, 2, 3% y cemento 5% en el año 2021	Las propiedades de plasticidad mejorarán al adicionarle cal a porcentajes 1, 2, 3 % y cemento 5% en el suelo fino de la carretera de Cusco – Paruro, en el año 2021	• Propiedades físicas.	-Plasticidad del suelo	-Limite liquido -Limite Plástico -Índice de plasticidad	ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN -Enfoque cuantitativo METODO DE INVESTIGACION -Experimental
¿En qué medida mejora la densidad seca máxima del suelo fino de la carretera Cusco – Paruro al adicionarle cal al 1, 2, 3% y cemento 5% en el año 2021?	Determinar en qué medida mejora la máxima densidad seca del suelo fino de la carretera Cusco – Paruro al adicionarle cal a porcentajes de 1, 2, 3% y cemento 5% en el año 2021	La densidad seca máxima mejorará al adicionarle cal a porcentajes 1, 2, 3 % y cemento 5% en el suelo fino de la carretera de Cusco – Paruro, en el año 2021.	• Propiedades mecánicas	-Densidad máxima seca	-Contenido de humedad máximo -Peso del suelo seco -Volumen el molde	NIVEL DE INVESTIGACION -Explicativa TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN
¿En qué medida mejora el soporte de california CBR del suelo fino de la carretera Cusco – Paruro al adicionarle cal al 1, 2, 3% y cemento 5% en el año 2021?	Determinar en qué medida mejora el valor de la relación de soporte CBR del suelo fino de la carretera Cusco – Paruro al adicionarle cal a porcentajes de 1, 2, 3% y cemento 5% en el año 2021	Soporte California CBR mejorará al adicionarle cal a porcentajes 1, 2, 3 % y cemento 5% en el suelo fino de la carretera de Cusco – Paruro, en el año 2021.		-Capacidad de soporte de CBR	-Densidad máxima seca -Deformación del suelo -Penetración del suelo	-Observación -Formatos de laboratorio TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS -Técnicas de análisis de datos cuantitativos