



# UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

## FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

### CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Proyecto Técnico previo a la obtención del título de Ingeniería Civil

**Título:** *“Estabilizaciones de suelo, mediante diferentes materiales como el cemento, emulsión asfáltica y aditivo químico, para mejorar las características mecánicas, de 1 km de la vía de tercer orden Pedregal - María Auxiliadora, el Shuyo, Riobamba”*

**Autor:** Dayana Katherine Patiño Peralta

**TUTOR**

Quito, enero de 2022

## **DECLARACIÓN JURAMENTADA**

Yo, DAYANA KATHERINE PATIÑO PERALTA, con cédula de ciudadanía número 171764165-6, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

**DAYANA KATHERINE PATIÑO PERALTA**

**C.C. 171764165-6**

## CERTIFICACIÓN

## **DECLARATORIA**

El presente Trabajo de Titulación titulado:

*“Estabilizaciones de suelo, mediante diferentes materiales como el cemento, emulsión asfáltica y aditivo químico, para mejorar las características mecánicas, de 1 km de la vía de tercer orden Pedregal - María Auxiliadora, el Shuyo, Riobamba”*

Realizado por:

**DAYANA KATHERINE PATIÑO PERALTA**

Como requisito para la obtención del Título de:

**INGENIERA CIVIL**

Ha sido dirigido por el profesor

Ing. Luis Alberto Soria Núñez, MSc.

Ing. Hugo Marcelo Otáñez Gómez, Mag.

Nombre completo del Tutor/a

Ing. Hugo Marcelo Otáñez Gómez, Mag.

**TUTOR**

## DECLARATORIA DE PROFESORES INFORMANTES

Los profesores informantes:

Ing. Luis Alberto Soria Núñez, MSc.

Nombre completo Profesor Revisor 1

Ing. Hugo Marcelo Otáñez Gómez, Mag.

Nombre completo Profesor Revisor 2

Después de revisar el trabajo presentado,

Lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador

Ing. Luis Alberto Soria Núñez, MSc.    Ing. Hugo Marcelo Otáñez Gómez, Mag.

Nombre completo Profesor Revisor 1    Nombre completo Profesor Revisor 2

## **DEDICATORIA**

Dedico este esfuerzo académico primeramente a mi padre Dios por que me ha permitido estar aquí y poder culminar mi carrera, siempre me cuidó en cada paso de mi vida y permitió que mis seres amados estén conmigo.

A mis Padres Luz María Peralta y Héctor Patiño, a mis hermanas Susana y María José Patiño, quienes son la inspiración de mi vida, mi más grande orgullo y motivación para llegar muy lejos.

A mi hermano Francisco y a Josué que estuvieron junto a mí, me apoyaron e hicieron posible conseguir este sueño, su impulso me ayuda a cumplir mis metas.

Danny, Abi, Gabo y Samu, soy su ejemplo a seguir lo único que deseo es que tengan éxito en su vida y sean mejores que yo, los amo mis enanos chiquitos.

## AGRADECIMIENTOS

Al finalizar esta etapa académica, una de las más satisfactorias de mi vida, deseo agradecer a Dios, mi fortaleza, quien me guio y acompañó en los momentos más difíciles.

Agradezco a quienes con su apoyo fueron un pilar fundamental para cumplir este sueño. En especial a mis padres Luz María Peralta y Héctor Patiño, gracias por su amor, por velar por mi bienestar y siempre preocuparse por mí, por su ejemplo correcto, que me inspiró a lo largo de mi vida estudiantil, por su esfuerzo incansable, el cual valoro y siempre atesorare en mi corazón los amo, mami y papi.

A mi hermana mayor Susana Patiño, quien me crio como su hija, me protegió de los castigos de mi mami cuando yo hacía travesuras, me daba golosinas cuando estaba en jardín, “salchipapa con cola”, me llevaba en taxi a mi escuela y me hacía faltar los viernes para llevarme a su universidad, me enseñó a escribir y hacer mis deberes en la escuela, cuando estaba en cuarto de básica, te amo Su.

A mi hermana María José Patiño, quien siempre fue mi ejemplo a seguir, aunque en ocasiones fue muy dura en su carácter y enseñanzas, hiciste que me esforzara hasta alcanzar lo soñado, admito que a veces de pequeña te chantajeaba y te hacía hacer las cosas de la casa en vez de ayudarte, te amo Majo.

A mi hermano Francisco porque soy su princesa, me consintió y aconsejo en toda mi vida estudiantil, me sermonaba cuando hacia algo mal y siempre estuvo pendiente de mí, fue mi guía para no desviarme de mi camino, te amo Pato.

A Josué, un hermano más para mi vida, para las travesuras, peleas, enojos y abrazos, siempre juntos, hasta cuando nos castigaban por nuestras travesuras, aunque a veces me hagas enojar, somos familia, te amo.

A mi Daniel, mi niño loco y extrovertido, que se enoja fácilmente, alegraste mi vida, te amo Danny.

A mi princesa hermosa Abigail, cuando leas esto quiero que sepas que eres mi motor chiquito, que alegras mi vida con tus ocurrencias e inocencia, haces mis días mejores, te amo mi Abi.

A mi Gabriel, mi gordo gritón, que le gusta dar besos a la ñaña, y aunque la mayor parte

de lo que hablas no te entienda, pronuncias bien mi nombre, te amo Gabo.

A mi Samuel, el bombón de la casa, eres lo más tierno y cariñoso, mi protector que me defiendes y me alegras con un beso tuyo, te amo Samu.

Gracias a cada uno de ustedes, por enseñarme que el amor verdadero, es el apoyo que me brindan para lograr superarme y cumplir mis metas, los amo.

## RESUMEN

En este trabajo se analiza como en el Ecuador tiene característica y principalmente una gran variedad de suelos y zonas climáticas, dando como resultado el crecimiento en la industria agrícola y ganadera. Estos productos son comercializados en ferias y/o mercados para que el consumidor y los comerciantes tengan una subsistencia, pero al no existir carreteras aptas para el transporte de los productos se llega a producir un deterioro en la economía nacional. Anexo a lo esto estipulado dentro de la Constitución de la República del Ecuador, se menciona “El Buen Vivir” o “Sumak Kawsay”, en el que indica que todos tenemos el derecho de dignificar el bienestar de las personas; y con esto conlleva también mejorar la calidad de una vía y con esto mejoramos la calidad de existencia de las personas que en ellas transita ya que con esto se tiene una seguridad vial. Así como también de la vida de los residentes cercanos a esta. También se resalta un objetivo y el más relevante de este proyecto es el que compete enteramente al presupuesto del proyecto y a la cuantificación monetaria que es el elemento que considera: materiales, construcción, mano de obra, transporte, entre otros. Por otra parte, Ecuador actualmente necesita la construcción de vías de tercer orden, en vista de la exigencia de las comunidades, para el desarrollo del comercio, comunicación y sus dependencias laborales. De esta manera el presente proyecto permitirá aportar de manera representativa al campo de la ingeniería civil repercutiendo de manera positiva y meritoria a la parte económicas de la población. Actualmente, en Ecuador las vías se encuentran deterioradas afectando el desarrollo productivo de la población. Esto es en base de un presupuesto para el tratamiento de la vía con un costo monetario alto. Ante tal situación la mejor solución fue destinar presupuesto para tratar las vías de primer orden y en casos muy particulares únicamente abordar de manera simple las demás vías.

**PALABRAS CLAVE: Suelo-cimientos-vías-desarrollo**

## **ABSTRACT**

This project analyzes how Ecuador has a great variety of soils and climatic zones, resulting in the growth of the agricultural and livestock industry. These products are marketed in fairs and/or markets for the consumer and traders to have a livelihood but in the absence of roads suitable for the transport of products comes to produce a deterioration in the national economy. Annex to this is stipulated in the Constitution of the Republic of Ecuador, here it's mentioned "El Buen Vivir" or "Sumak Kawsay", which indicates that all have the rights to dignify the welfare of people; and with this also involves improving the quality of a road and with this we improve the quality of existence of the people who travel on them since with this we have a road safety. As well as the life of the residents near it. It also highlights an objective and the most relevant of this project is the one that concerns entirely the project budget and the monetary quantification that is the element that considers: materials, construction, labor, transportation, among others. On the other hand, Ecuador currently needs the construction of third order roads, in view of the demand of the communities, for the development of commerce, communication and their labor dependencies. In this way the present project will allow to contribute in a representative way to the field of civil engineering having a positive and meritorious impact on the economic part of the population. Currently, in Ecuador the roads are deteriorated affecting the productive development of the population. This is based on a budget for the treatment of the road with a high monetary cost. Faced with this situation, the best solution was to allocate budget to treat the first order roads and in very particular cases only address the other roads in a simple way.

**KEY WORDS: Soil-facilities-roads-development**

## INDICE

CERTIFICACIÓN.....	III
DECLARATORIA.....	IV
DEDICATORIA.....	VI
Dedico este esfuerzo académico primeramente a mi padre Dios por que me ha permitido estar aquí y poder culminar mi carrera, siempre me cuido en cada paso de mi vida y permitió que mis seres amados estén conmigo. ....	
	VI
AGRADECIMIENTOS.....	VII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT .....	X
Índice figuras .....	XIV
Índice de tablas .....	XIX
CAPÍTULO I: PROBLEMA.....	1
1.1. Antecedentes.1	
1.2. Justificación. 2	
1.3. Definición de Variables. 2	
1.3.1. Variable de método (independiente). ....	2
1.3.2. Variable de resultado (dependiente). ....	2
1.4. Planteamiento del problema.2	
1.5. Objetivos. 3	
1.5.1. Objetivo general. ....	3
1.5.2. Objetivos específicos.....	3
1.6. Alcance. 3	
1.7. Limitaciones. 3	
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Suelos. 5	
2.2. Tipos de suelos. 6	
2.3. Gravas y arenas. 6	
2.4. Suelos con base limo. 6	
2.5. Suelos arcillosos. 7	
2.6. Estabilización de suelo. 7	
2.7. Tipos de Estabilización. 8	
2.8. Emulsiones Asfálticas. 9	
2.9. Emulsión Asfáltica Inversa. 11	
2.10.Cemento. 12	
2.11. Ensayos para suelos.12	

2.12.	Granulometría.	12
2.13.	Clasificación del suelo con la norma AASHTO M145.	13
2.14.	Índice de grupo norma AASHTO.	15
2.15.	Clasificación del suelo con la norma ASTM D-2487.	16
2.16.	Humedad Natural (ASTM D-2216).	19
2.17.	Índice de plasticidad (ASTM D-4318).	19
2.18.	Consistencia del suelo.	19
2.19.	Límite Líquido (LL) (ASTM D-4318).	20
2.20.	Límite plástico (LP) (ASTM D-4318).	21
2.21.	Límite de contracción (SL).	22
2.22.	Relación de peso unitario – humedad en los suelos (ASTM D-422).	23
2.23.	Ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R) (ASTM D-1883).	26
2.24.	Ensayos a efectuarse.	27
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA. ....		39
3.1.	Nivel o tipo de investigación.	39
3.1.1.	Exploratorio. ....	39
3.1.2.	Descriptivo.....	39
3.1.3.	Explicativo. ....	39
3.2.	Tipo de investigación.	39
3.2.1.	Investigación Experimental.....	39
3.2.2.	Muestra. ....	39
3.3.	Descripción de los suelos a estabilizar.	42
3.4.	Extracción de Muestra.	42
3.5.	Desarrollo Experimental.	43
3.5.1.	Hipótesis.....	43
3.5.2.	Variable Independiente.....	43
3.5.3.	Variable Dependiente. ....	45
3.5.4.	Plan de recolección de información. ....	45
3.6.	Plan de procesamiento y análisis.	46
3.6.1.	Plan de procesamiento de información.....	46
3.6.2.	Plan de Análisis e Interpretación de resultados. ....	46
3.7.	Instrumentos de investigación.	47
3.8.	Validez y confiabilidad de los instrumentos.	47
3.9.	Procedimiento de estabilización.	47
3.9.1.	Ensayo de Granulometría ASTM D-2487.....	47

3.9.2.	Relación peso unitario- humedad natural ASTM D 1557. ....	49
3.9.3.	Ensayo de California Bearing Ratio ASTM D 1883. ....	51
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		54
4.1.	Análisis de resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio en la estabilización de suelos grava-limosa. ....	54
4.2.	Análisis de Gráficas de resultados de las estabilizaciones obtenidas con las mezclas. ....	54
4.3.	Ensayo de Granulometría ASTM D-2487. ....	54
4.4.	Relación peso unitario- humedad natural ASTM D 1557. ....	57
4.5.	Ensayo de California Bearing Ratio ASTM D 1883. ....	67
4.6.	Relación entre los diferentes materiales y sus CBR al 95% y 100%. ....	78
4.7.	Estabilización de suelo ....	81
4.8.	Análisis económico. ....	81
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.....		83
5.1.	Conclusiones. ....	83
5.2.	Recomendaciones. ....	84
Capítulo VI: Anexos. ....		85
6.1.	Ensayo de Granulometría ASTM D-2487. ....	85
6.2.	Relación peso unitario- humedad natural ASTM D 1557. ....	87
6.3.	Ensayo de California Bearing Ratio ASTM D 1883. ....	97
6.4.	Ensayos en laboratorio. ....	107

## Índice figuras

Figura 1: Suelos.....	5
Figura 2: Arenas y gravas.....	6
Figura 3: Suelos tipo limoso.....	7
Figura 4: Suelos tipo limoso.....	7
Figura 5: Planta de Emulsión Asfáltica.....	10
Figura 6: Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica	11
Figura 7: Grafica granulométrica.....	13
Figura 8: Clasificación de Materiales para los Tipos de Carreteras Subrasantes.....	14
Figura 9: Límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7. ....	15
Figura 10: Sistema unificado de clasificación de suelo (basado en el material que pasa por el tamiz núm. 75). ....	16
Figura 11: Grafica de plasticidad.....	17
Figura 12: Símbolo y nombre de grupo.....	17
Figura 13: Diagrama de flujo de nombres de los grupos. ....	18
Figura 14: Límite de Mauritz Atterberg.....	20
Figura 15: Límite líquido. Método Casagrande.....	21
Figura 16: Límite plástico.....	22
Figura 17: Definición del límite de contracción.....	23
Figura 18: Diferentes tipos de curvas de compactación encontradas en suelos.....	25
Figura 19: Cálculo de índice del CBR.....	38
Figura 20: Mapa Geológico de Suelos del Ecuador. ....	40

Figura 21: Mapa Geológico de Suelos del Ecuador .....	41
Figura 22: Recolección de muestras.....	43
Figura 23: Caracterización de los materiales. ....	47
Figura 24: Muestra Grava-limosa.....	48
Figura 25: Realización de ensayo de granulometría. ....	48
Figura 26: Ensayo de granulometría. ....	49
Figura 27: Preparación de muestra con Emulsión Asfáltica para el Ensayo de Compactación.....	49
Figura 28: Preparación de muestra con Cemento para el Ensayo de Compactación ..	50
Figura 29: Preparación de muestra con Terrasil para el Ensayo de Compactación ....	50
Figura 30: Ensayo de Compactación .....	51
Figura 31: Preparación de cilindros de ensayo CBR.....	51
Figura 32: Sumergiendo en el agua los cilindros de ensayo CBR.....	52
Figura 33: Ensayando los cilindros de CBR.....	52
Figura 34: Granulometría ABS 0+200.....	55
Figura 35: Granulometría ABS 0+900.....	55
Figura 36: Distribución de tamaño de partícula.....	55
Figura 37: Distribución de tamaño de partícula.....	56
Figura 38: Proctor Modificado .....	57
Figura 39: Proctor Modificado .....	58
Figura 40: Proctor Modificado.....	59
Figura 41: Proctor Modificado .....	60
Figura 42: Proctor Modificado .....	61

Figura 43: Proctor Modificado .....	62
Figura 44: Proctor Modificado .....	63
Figura 45: Proctor Modificado.....	64
Figura 46: Proctor Modificado .....	65
Figura 47: Proctor Modificado .....	66
Figura 48: Presión vs Penetración para CBR (Suelo Natural). .....	67
Figura 49: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo Natural). .....	67
Figura 50: California Bearing Ratio (CBR) (Natural).....	68
Figura 51: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Emulsión Asfáltica 2%).....	68
Figura 52: Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Emulsión Asfáltica 2%).....	69
Figura 53: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Emulsión Asfáltica 2%).....	69
Figura 54: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Emulsión Asfáltica 4%).....	70
Figura 55: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Emulsión Asfáltica 4%).....	70
Figura 56: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Emulsión Asfáltica 4%).....	70
Figura 57: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Emulsión Asfáltica 6%).....	71
Figura 58: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Emulsión Asfáltica 6%).....	71
Figura 59: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Emulsión Asfáltica 6%).....	71
Figura 60: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Aditivo químico 0.5 kg/m <sup>3</sup> – cemento 0.75%).....	72
Figura 61: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Aditivo químico 0.5 kg/m <sup>3</sup> – cemento 0.75%).....	72
Figura 62: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Aditivo químico 0.5 kg/m <sup>3</sup> – cemento 0.75%).....	73

Figura 63: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Aditivo químico 0.5 kg/m <sup>3</sup> – cemento 1%).	73
Figura 64: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Aditivo químico 0.5 kg/m <sup>3</sup> – cemento 1%).	74
Figura 65: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Aditivo químico 0.5 kg/m <sup>3</sup> – cemento 1%).	74
Figura 66: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Aditivo químico 0.75 kg/m <sup>3</sup> – cemento 1%).	74
Figura 67: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Aditivo químico 0.75 kg/m <sup>3</sup> – cemento 1%).	74
Figura 68: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Aditivo químico 0.75 kg/m <sup>3</sup> – cemento 1%).	75
Figura 69: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Cemento 1%).	75
Figura 70: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Cemento 1%).	76
Figura 71: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Cemento 1%).	76
Figura 72: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Cemento 3%).	76
Figura 73: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Cemento 3%).	77
Figura 74: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Cemento 3%).	77
Figura 75: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Cemento 5%).	78
Figura 76: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Cemento 5%).	78
Figura 77: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Cemento 5%).	78
Figura 78: CBR (Suelo Natural).	79
Figura 79: CBR (Emulsión Asfáltica).	79
Figura 80: CBR (Aditivo Químico + Cemento).	80
Figura 81: CBR (Cemento).	80

Figura 82: Estabilización de suelos (Cemento).....	81
Figura 83: Precio unitario y Costo.....	81
Figura 84: CBR vs Costo. ....	82

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Beneficios de TerraSil.....	9
<b>Tabla 2.</b> Índice de plasticidad de la Arcilla Normal ASTM.....	19
<b>Tabla 3.</b> Ensayo Proctor estándar (Basadas en la Norma ASTM 698). ....	23
<b>Tabla 4.</b> Prueba Proctor modificada (Basadas en la Norma ASTM 1577).....	24
<b>Tabla 5.</b> Valores de carga unitaria. ....	26
<b>Tabla 6:</b> Energías de Compactación. ....	27
<b>Tabla 7:</b> Clasificación de suelos para Infraestructura de pavimentos. ....	27
<b>Tabla 8.</b> Ensayo de granulometría.....	28
<b>Tabla 9.</b> Ensayo de Humedad Natural.....	30
<b>Tabla 10.</b> Ensayo de Líquido, índice plástico.....	32
<b>Tabla 11.</b> Relación peso unitario-humedad del suelo. ....	34
<b>Tabla 12.</b> Ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R).....	35
<b>Tabla 13.</b> Descripción del Suelo GM de acuerdo al Mapa Geológico. ....	41
<b>Tabla 14.</b> Peso total del suelo Grava Limosa. ....	42
<b>Tabla 15.</b> Conceptualización de la Variable Independiente.....	44
<b>Tabla 16.</b> Conceptualización de la Variable Dependiente.....	45
<b>Tabla 17.</b> Plan de recolección de información. ....	45

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Datos de granulometría.....	85
Anexo 2: Datos del Proctor Modificado (Natural). ....	87
Anexo 3: Datos del Proctor Modificado (Emulsión Asfáltica 2%). ....	88
Anexo 4: Datos del Proctor Modificado (Emulsión Asfáltica 4%). ....	89
Anexo 5: Datos del Proctor Modificado (Emulsión Asfáltica 6%). ....	90
Anexo 6: Datos del Proctor Modificado (Aditivo 0.5 kg/m <sup>3</sup> – Cemento 0.75%).....	91
Anexo 7: Datos del Proctor Modificado (Aditivo 0.5 kg/m <sup>3</sup> – Cemento 1%). ....	92
Anexo 8: Datos del Proctor Modificado (Aditivo 0.75 kg/m <sup>3</sup> – Cemento 1%). ....	93
Anexo 9: Datos del Proctor Modificado (Cemento 1%). ....	94
Anexo 10: Datos del Proctor Modificado (Cemento 3%). ....	95
Anexo 11: Datos del Proctor Modificado (Cemento 5%). ....	96
Anexo 12: Datos del CBR (Natural). ....	97
Anexo 13: Datos del CBR (Emulsión Asfáltica 2%). ....	98
Anexo 14: Datos del CBR (Emulsión Asfáltica 4%). ....	99
Anexo 15: Datos del CBR (Emulsión Asfáltica 6%) ..... 100	
Anexo 16: Datos del CBR (Aditivo 0.5 kg/m <sup>3</sup> – Cemento 0.75%).....	101
Anexo 17: Datos del CBR (Aditivo 0.5 kg/m <sup>3</sup> – Cemento 1%). ....	102
Anexo 18: Datos del CBR (Aditivo 0.75 kg/m <sup>3</sup> – Cemento 1%). ....	103
Anexo 19: Datos del CBR (Cemento 1%). ....	104
Anexo 20: Datos del CBR (Cemento 3%). ....	105
Anexo 21: Datos del CBR (Cemento 5%). ....	106

Anexo 22: Cuarteo de la muestra.....	107
Anexo 23: Toma de Humedades.....	108
Anexo 24: Granulometría.....	109
Anexo 25: Preparación de Suelo más emulsión Asfáltica. ....	110
Anexo 26: Preparación de Suelo más Aditivo Químico .....	111
Anexo 27: Preparación de Suelo más Cemento.....	112
Anexo 28: Preparación de Suelo Natural. ....	113
Anexo 29: Ensayo Proctor Modificado. ....	114
Anexo 30: Enrazar los moldes de Proctor Modificado y CBR.....	115
Anexo 31: Toma de humedades de Proctor Modificado y CBR.....	116
Anexo 32: Peso de los moldes de CBR antes de sumergir al agua.....	117
Anexo 33: Surgimiento de moldes CBR.....	118
Anexo 34: Moldes listos del CBR para ensayar. ....	119
Anexo 35: Moldes ensayados del CBR.....	120



## **CAPÍTULO I: PROBLEMA.**

### **1.1. Antecedentes.**

El Ecuador tiene como característica principal una gran variedad de suelos y zonas climáticas, dando como resultado el crecimiento en la industria agrícola y ganadera. Estos productos son comercializados en ferias y/o mercados para la subsistencia del consumidor y los comerciantes. Sin embargo, es preciso contar con vías adecuadas que permitan el desplazamiento de un lugar a otro; para facilitar la comercialización y en ocasiones promover un incremento (Chávez, 2018). Al no existir carreteras en estados idóneos, el transportar tan importantes productos puede llevar a producir un deterioro en la economía nacional.

Adicional a lo expuesto, es meritorio indicar que, dentro de las leyes de la fiscalía general de la República del Ecuador, se menciona “El Buen Vivir” (Sumak Kawsay), en el que indica que todos tenemos la oportunidad de dignificar el bienestar de las personas; y mejorar la calidad de una vía, mejoramos la calidad de existencia de las personas que en ellas transita, así como también de los residentes cercanos a esta (Plan Nacional del Buen Vivir, 2017).

Pues tal motivo, al ser una propiedad pública, el gobierno central y sus extensiones, tienen la obligación de proveer y mantener estas obras. Así, por ejemplo, la primera y más relevante compete enteramente al presupuesto del proyecto; la cuantificación monetaria es el elemento que considera: materiales, construcción, mano de obra, transporte, entre otros. Adquirir y proporcionar cada uno de los aspectos mencionados es el eje principal de cualquier obra.

Razón por el cual, el objetivo de este trabajo es realizar diferentes tipos de estabilizaciones de suelos orientados a medir el precio del proyecto, determinando cuál es el bajo costo, realizando la propuesta de 1 km del sector de Shuyo, tomando muestras de las abscisas 0+200; 0+900 con el objetivo de reutilizar el material de mejoramiento de la vía para la colocación posterior del pavimento estructural del carril de tercer orden.

Dispuesto en el párrafo anterior, su objetivo del anteproyecto, está relacionado directamente con el costo de la ejecución, debido a que, por lo general in situ no existe material granular para ejecutar la estabilización del mejoramiento (Cevallos, 2016).

## **1.2. Justificación.**

Ecuador actualmente necesita la construcción de vías de tercer orden, en vista de la exigencia de las comunidades, para el desarrollo del comercio, comunicación y sus dependencias laborales.

Ante esta situación la importancia del proyecto de 1 km de la vía el Shuyo, se verá reflejada mediante la creación de estabilizaciones de suelo con diferentes materiales: cemento, emulsión asfáltica y aditivo químico, con la finalidad de analizar el costo del proyecto, cumpliendo la parte técnica del mejoramiento del agregado, donde, en laboratorio se realizará los ensayos necesarios para conocer la cantidad que se va a utilizar en los materiales recuperados de la carpeta (MOP-001-F2002, 2002). De esta manera el presente proyecto permitirá contribuir de manera representativa al campo de la ingeniería civil trascendiendo de manera positiva y plausible a los económicos de la población.

## **1.3. Definición de Variables.**

### **1.3.1. Variable de método (independiente).**

Tipos de suelos.

### **1.3.2. Variable de resultado (dependiente).**

Estabilizaciones de suelos con cemento.

Estabilizaciones de suelo con emulsión asfáltica.

Estabilizaciones de suelo con aditivo químico.

## **1.4. Planteamiento del problema.**

En lo que respecta a los costos de construcción y mantenimiento; estos son cada vez más altos y es por ese motivo que actualmente el área de ingeniería civil se ha permitido identificar nuevos materiales, los cuales modifican las características propias del suelo haciendo de este un elemento más manejable. Es un pensamiento común, mejorar el desarrollo de nuestras vidas, esto en particular se ve reflejado en la manera que las personas desarrollan sus actividades económicas. La mejor manera para desempeñar las mismas es poseer carreteras adecuadas para el libre tránsito.

Actualmente, en Ecuador las vías se encuentran deterioradas afectando el desarrollo productivo de la población. De acuerdo con los datos que precisa el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (2021) el 73 % se encuentran en un estado óptimo, el 23% con un estado bueno y 4% restante necesitan de arreglos mayores. Esto es en base de un presupuesto para el tratamiento de la vía con

un costo monetario alto. Ante tal situación la mejor solución fue destinar presupuesto para tratar las vías de primer orden y en casos muy particulares únicamente abordar de manera simple las demás vías. Es por tal motivo que se evidencia una total necesidad por abordar procedimientos que estandaricen un método para creación de un mejoramiento de bajo costo que permita influenciar en el presupuesto; otorgando nuevas maneras para tratar con esta problemática.

## **1.5. Objetivos.**

### **1.5.1. Objetivo general.**

Diseñar las estabilizaciones de suelo de base grava limoso, utilizando materiales de cemento, emulsión asfáltica y aditivo químico para obtener un buen mejoramiento del material de situ, que permita reducir el costo de diseño del pavimento definitivo en vías de tercer orden.

### **1.5.2. Objetivos específicos.**

Identificar la tipología del suelo por medio de ensayos que identifiquen las propiedades propias del mismo, con el propósito de seleccionar los aditivos adecuados.

Realizar estabilizaciones de suelos con material de mejoramiento de situ utilizando materiales de cemento, emulsión asfáltica y aditivo químico para determinar su aplicabilidad en proyectos.

Detallar la reducción del coste en obra por medio del análisis de diferentes estabilizadores (cemento, emulsión asfáltica y aditivos químicos) con el propósito de cuantificar numéricamente y/o en porcentaje de disminución del precio total del proyecto.

## **1.6. Alcance.**

El alcance del proyecto concierne a las vías de tercer orden, puesto que, si se llegase a determinar una reducción considerable en los rubros de obra, puede ser aplicado en cualquier sitio, pero con fines de análisis se procederá a verificar cuál es la mejor opción de los materiales a emplearse en el proyecto civil de la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba para ser exactos.

## **1.7. Limitaciones.**

Como se mencionó con anterioridad, por fines educativos se pretende analizar una obra civil para conocer que material cumple con las especificaciones técnicas y el bajo costo en obra, en consecuencia, solo se analizará en el tramo de 1 km de la vía el Shuyo esto queda ubicada en la provincia de Chimborazo, en el cantón de Riobamba. Se debe señalar que el resto del país queda

fuera del presente trabajo a ejecutarse.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

### 2.1. Suelos.

En proyectos viales, la cimentación debe soportar cargas tales como personas, vehículos y estructuras de la superficie de la carretera en presencia de agua y humedad; Deben tener las mismas características que las tuberías o conductos para que el agua almacenada en su interior pueda escurrir libremente.

Se entiende por suelo el recubrimiento de la superficie de la corteza terrestre debido a la descomposición o transformación física de las rocas y restos de organismos que habitan en la superficie terrestre. Se puede argumentar que los suelos son sistemas complejos con algunas características propias y, por lo tanto, es responsabilidad de los ingenieros civiles comprenderlos y trabajar con ellos (Crespo, 2004).

El suelo se puede utilizar en su estado natural, siempre y cuando las pruebas sobre el mismo muestren las propiedades requeridas para su uso, en la mayoría de los proyectos el suelo no alcanza las propiedades requeridas, por lo que se debe mejorar sus características para una mejor construcción. Usando suelos especiales o una mezcla de aditivos y minerales combinados con suelos pobres en nutrientes, reaccionan químicamente para crear un sustrato flexible que es resistente al tráfico y las condiciones climáticas más adversas (Corral, 2012).

En la mayoría de los proyectos, las propiedades del suelo no tienen las condiciones deseadas, por lo que mejorar las propiedades del suelo mezclándolos con suelos con las mejores propiedades o mezclándolos con aditivos y minerales puede conducir a un suelo pobre en nutrientes. Un químico que tiene un piso sólido con excelente capacidad de respuesta a los efectos del tráfico y las condiciones climáticas más adversas.



**Figura 1: Suelos**

**Fuente:** (Lansac, 2020).

## 2.2. Tipos de suelos.

En los tipos de los suelos recaía meramente en una descripción de índole descriptiva en anteriores años, pero como es de esperarse la mecánica de suelos optó por clasificar las distintas tipologías por medio de sus propiedades mecánicas.

## 2.3. Gravas y arenas.

Crespo (2004) define a la arena y grava como un suelo constituido de cascajos granulares y angulosos, alterados poco o nada por rocas minerales.



**Figura 2: Arenas y gravas**

**Fuente:** (Lansac, 2020).

## 2.4. Suelos con base limo.

Estos tipos de suelos presentan granos finos, la arcilla tiene un índice de plasticidad menor, por tanto, tienen una base orgánica finamente dividida. Es común encontrar cascajos (o fragmentos) perceptibles de procedencia vegetal en ellos (Crespo, 2004).



**Figura 3: Suelos tipo limoso**

**Fuente:** (Beliver, 2021).

### **2.5. Suelos arcillosos.**

El presente tipo de suelo se encuentra conformado de partículas originarias de la descomposición química y mineralógica de las rocas, generalmente por intemperismo (estancia y libre exposición a los elementos). Estos suelos son dúctiles cuando se encuentran en estado húmedo, por otra parte, cuando están secos exhiben mayor dureza, poseen una permeabilidad considerablemente baja (Crespo, 2004).



**Figura 4: Suelos tipo limoso**

**Fuente:** (Beliver, 2021).

### **2.6. Estabilización de suelo.**

Al momento de erigir un proyecto es importante considerar la cualidad (calidad) de los suelos.

Los suelos inestables con capaces de presentar complicaciones al momento de realizar una obra civil.

Es por tal motivo que en varias ocasiones el responsable de la obra opta por aglutinar y/o recubrir al suelo con una base o aditivo que cambia las propiedades del suelo, haciendo de estos mayormente manejables.

## **2.7. Tipos de Estabilización.**

Para Crespo (2004), hay diferentes tipos de estabilización, clasificado según las propiedades en diferentes formas para lograrlo las cuales son las siguientes:

### **Estabilización Física.**

Este tipo de estabilización se utiliza para trabajar el material a intervenir, partiendo del ajuste de sus propiedades reales mediante combinaciones en los suelos, entre las que se encuentran diversas técnicas:

Geotextiles. Son texturas semiporosas y no pasan por biodegradación, muy bien puede utilizarse como canal que controlará la erosión del mismo.

Vibro flotación, Automatización de suelos. Esto sirve para expandir el espesor de un suelo no firme. En general el vibrador reduce una fuerza entre los granos entre las partículas del suelo, moviéndose a una posición lo cual les da una mayor densidad (Crespo, 2004).

### **Estabilización Mecánica.**

Este es un método que puede trabajar intensamente en el suelo sin reacciones químicas significativas. Esta compactación mejorada se suele hacer en la subbase, base y los organizadores con la tapa negra (Merino, 2006).

La estabilización mecánica implica la compactación estática o dinámica del suelo para aumentar la densidad, la resistencia mecánica y reducir la porosidad de la permeabilidad del suelo. También puede incluir previamente diferentes mezclas de suelo para obtener las especificaciones que desea.

### **Estabilización química.**

La estabilización química utiliza ciertos productos que actúan sobre el suelo para provocar una reacción que simpatiza con sus compuestos, moléculas e iones para modificar la constitución

del suelo. Los productos químicos utilizados incluyen la clase de compuestos Terrasil (Zydex, 2018).

Terrasil es un producto que se diluye en agua y se aplica con equipo de aspersión a una variedad de suelos para producir los siguientes beneficios que se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Beneficios de TerraSil.

Mejor compactación.	Reducción de expansivita.	Impermeabilización molecular.
Logra compactaciones dentro de la norma con menos pasadas.	Reduce las deformaciones y los esfuerzos internos.	Genera estructuras resistentes al agua.
Mejor manejo del suelo para rangos más amplios de humedad optima de compactación.	Facilita el uso de suelos locales que en principio no cumplen con la norma a costos competitivos.	Rompe el ascenso capital y asegura la conservación de capacidad de carga durante la vida útil del camino.

**Fuente:** (Zydex, 2018).

## **2.8. Emulsiones Asfálticas.**

Es un sistema heterogéneo de dos fases que generalmente es indivisible (no se mezclan), como el agua y el asfalto, se combinan pequeña cantidad de ingredientes activos o emulsiones a base de jabón o solución alcalina, Manteniendo el sistema en estado de dispersión, la fase continua es agua y partículas de asfalto discontinuas, el tamaño varía de uno a diez micrómetros.

El asfalto se emulsiona en un molino coloidal en una proporción de 40-50% por el peso de agua que tiene entre 0,5 y 1,5% en peso de la emulsión.

Permitiendo el uso del asfalto en lugares donde no es posible calentar el material.

Cuando la emulsión entra en contacto con el agregado, se produce un desequilibrio que lo rompe,

provocando que las partículas de asfalto se adhieran a la superficie del agregado.

El agua fluye o se evapora y se separa de las partículas de roca cubiertas de asfalto. Hay emulsiones que permiten que esta rotura se produzca de forma inmediata y otras que la ralentizan a tal fenómeno (Talavera, Meneses, & Madrid, 2001).



**Figura 5: Planta de Emulsión Asfáltica**

**Fuente:** (Planta de emulsiones asfálticas GYRY06H, 2014).

Dependiendo de la tasa de degradación, la emulsión asfáltica puede ser:

#### **Emulsiones de Rotura Lenta SS (Slow Setting).**

Está diseñado para tiempos de mezcla prolongados con áridos. Es particularmente útil para maximizar la estabilidad de la mezcla. Se utilizan para dar un buen acabado al árido compactado y para asegurar una mezcla buena y estable.

#### **Emulsiones de Rotura Controlada QS (Controlled Setting).**

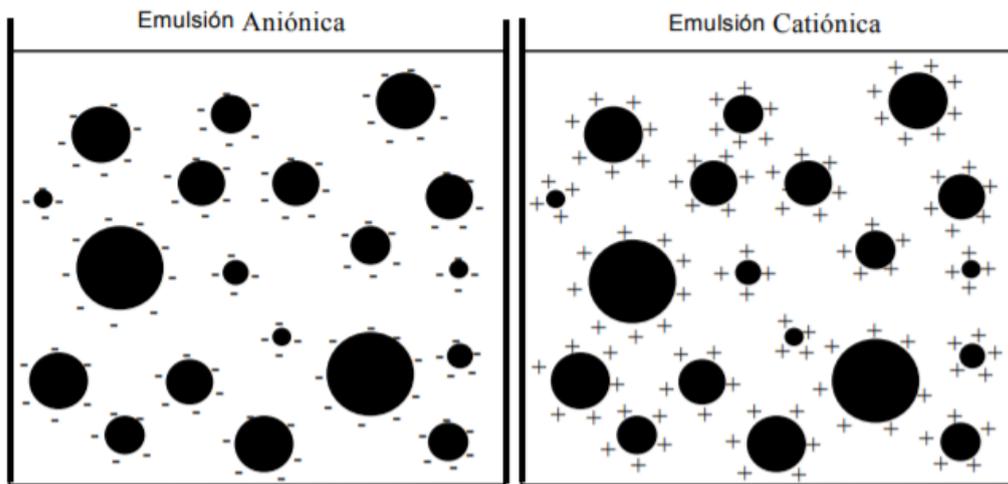
Está diseñado para controlar el tiempo de rotura según sea necesario.

El tipo de emulsión utilizada depende de varios factores, como el tipo de agregado, las condiciones

climáticas durante la construcción, etc.

La emulsión asfáltica debe tener un buen sellado.

Esta cualidad le da a la emulsión, que puede darle una polaridad negativa o positiva, tomando el nombre del anión, el primero, que se une a las agrupaciones cargadas positivamente y el catión, el segundo, que se une a las agrupaciones cargadas negativamente; Así como de origen cuarzo o silicio.



**Figura 6: Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica**

**Fuente:** (Talavera, Meneses, & Madrid, 2001)

### **Emulsiones de Rotura Media MS (Medium Setting).**

No se rompen al entrar en contacto con los áridos, por lo que algunos de ellos se pueden elaborar en planta.

### **Emulsiones de Rotura Rápida: RS (Rapid Setting).**

Reacciona rápidamente con los agregados y convierte las emulsiones en asfalto. Forman un recubrimiento relativamente duro y se utilizan principalmente para aplicaciones en spray sobre los agregados y arenas de sellado, así como para penetración en rocas fracturadas; Por su alta viscosidad actúa como agente impermeabilizante (Talavera, Meneses, & Madrid, 2001).

### **2.9. Emulsión Asfáltica Inversa.**

Emulsión asfáltica donde la fase continua es asfalto líquido y la fase discontinua son pequeñas gotas de agua con una fracción relativamente pequeña.

Este tipo de emulsión también puede ser aniónica o catiónica.

### **2.10. Cemento.**

Según Toirac (2008) el cemento es un grupo hidráulico, de procedencia mineral finamente molido, que al mezclarse con agua forma un símil a una pasta que solidifica y endurece generando estabilidad incluso bajo el agua. Una cantidad debidamente dosificada y mezclada con agua y áridos, deben producir un hormigón o mortero que alcance su resistencia.

### **2.11. Ensayos para suelos.**

Los ensayos pueden ser connotados como una actividad que requiere de materiales y herramientas específicas para su realización.

### **2.12. Granulometría.**

Según Corral (2012) la granulometría establece una parte principal de las propiedades físicas de los adheridos de construcción que impacta en la tenacidad del material. Se puede concluir que, las dimensiones de los agregados son gracias al porcentaje de la distribución granulométrica, con una serie de tamices dispuestos a sus aberturas de mayor a menor.

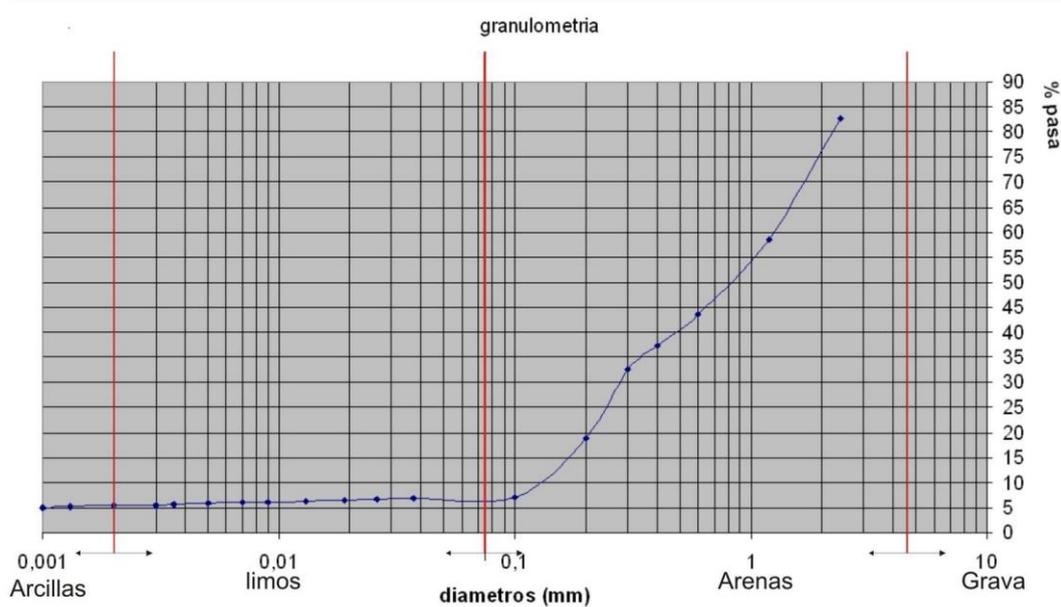
Esta es la propiedad más característica del suelo y se relaciona con su tamaño y proporción de partículas en una fracción del suelo, por lo que es imperativo realizar pruebas de tamaño de partículas para comprender y evaluar estas propiedades como aire por unidad de volumen. Tiene en cuenta la relación que afecta la densidad y la permeabilidad del suelo, depende del tamaño de los poros ya que estos determinan el movimiento del agua a través del medio poroso, la fuerza cortante por fricción interna, y depende del tamaño de los poros en la esquina como se relaciona. a las partículas Capacidad de interacción para resistir el esfuerzo cortante.

La finura del agregado es un factor muy importante en el concreto asfáltico que depende de la economía, la trabajabilidad y la resistencia de la mezcla. El análisis o prueba de tamiz se realiza tamizando el agregado a través de una serie numerada de tamices. Estos tamices están en orden ascendente, es decir, número 4, número 8, número 16, número 30, número 50, número 100, número 200 y tamices de tazón, estos tamices se utilizan para obtener agregado fino, el tamaño de palabra más grande hasta el más pequeño de 1-'' , 1'' , 1/2'' , 3/8'' , #4, #8 y bandejas utilizados para agregado grueso, el número de mallas indica los agujeros de malla por pulgada lineal.

El uso de todos los tamices depende de la precisión o especificación requerida, ya que a veces solo

se utilizan unos pocos tamices. Cualquiera que pase por el tamiz de 3/8" y el # 4 tamiz y se mantenga casi por completo en el tamiz 200 se denomina agregado fino. El agregado grueso es el agregado que se mantiene en el tamiz # 4.

La división también produce una partícula que se gráfica, en este caso se llama curva de partícula. Estas gráficas están representadas por dos ejes ortogonales entre sí, el vertical y el horizontal, donde el eje horizontal representa el porcentaje de movimiento, y en el eje vertical la apertura del tamiz graduado puede ser aritmética, logarítmica o, en algunos casos, mixta. La curva de tamaño de partícula puede mostrar mejor la distribución de tamaño del peso total, así como el espesor del material.



**Figura 7: Grafica granulométrica.**

**Fuente:** (Mecánica de los suelos, 2002).

### 2.13. Clasificación del suelo con la norma AASHTO M145.

La clasificación AASHTO se muestra en la Figura 8, y en este sistema, los suelos se dividen en siete categorías: A-1 a A-7.

Los suelos de los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, el polvo que pasa por el tamiz 200 es inferior al 35 % y el suelo que pasa por el tamiz 200 supera el 35 %. W A-4, A-5 Los grupos A-6 y A-7 son materiales finos, principalmente aluvión y arcilla.

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

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

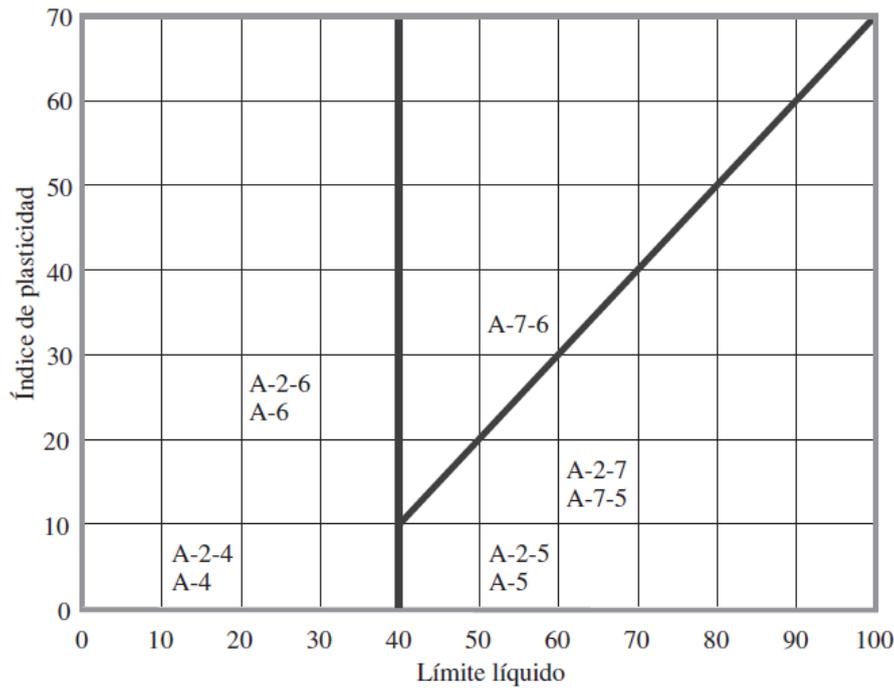
\*Para A-7-5,  $PI \leq LL - 30$   
†Para A-7-6,  $PI > LL - 30$

**Figura 8: Clasificación de Materiales para los Tipos de Carreteras Subrasantes**

**Fuente:** (Braja, 2015).

La Figura 8 muestra un gráfico del rango de plasticidad y límite líquido para suelos divididos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.

Para evaluar la calidad del suelo como material de pavimentación, también se incluye un número llamado índice de grupo (GI) en los grupos y subtítulos de suelo.



**Figura 9: Límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.**

Fuente: (Braja, 2015)

#### 2.14. Índice de grupo norma AASHTO.

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

$(F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)]$  → este es el índice de grupo parcial que es determinado por el límite líquido.

$0.01(F - 15)(PI - 10)$  → este es el índice de grupo parcial que es determinado a partir del índice de plasticidad.

Si la ecuación calculada del índice de grupo da negativa se toma como valor cero.

Si la ecuación calculada del índice de grupo sale con decimales, automáticamente se redondea.

Los índices agrupados no tienen límite superior.

El índice de agrupamiento para el suelo A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre es 0.

Al calcular el índice de agrupamiento para suelos pertenecientes a los grupos A-2-6 y A-2-7, se debe usar el índice de agrupamiento parcial PI, es decir,  $0.01(F - 15)(PI - 10)$ .

Donde

F = porcentaje pasado por el tamiz N° 200.

LL = límite líquido.

PI = índice de plasticidad.

## 2.15. Clasificación del suelo con la norma ASTM D-2487.

La proporción de arena y grava en estado natural que pasa por el tamiz de 200 grados es inferior al 50%. Símbolos de grupo que comienzan con el prefijo G o S. G es suelo de grava, S es suelo arenoso.

Para suelos con más del 50% de finura que pasan el tamiz número 200, la designación del grupo comienza con el prefijo M para lodos inorgánicos, C para arcillas inorgánicas y O para arcillas y arcillas. El símbolo Pt se usa para suelos con un alto contenido de turba, limo y otra materia orgánica.

Otras notaciones que también se utilizan para la clasificación son:

W: bien clasificado.

P: mal clasificado.

L: baja plasticidad (límite líquido menor de 50).

H: alta plasticidad (límite líquido mayor de 50).

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

<sup>a</sup>Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

<sup>b</sup>Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}, \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

<sup>d</sup>Si  $4 \leq PI \leq 7$  y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

<sup>e</sup>Si  $4 \leq PI \leq 7$  y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

**Figura 10: Sistema unificado de clasificación de suelo (basado en el material que pasa por el tamiz núm. 75).**

**Fuente:** (Braja, 2015).

A partir de la figura 11, se puede evaluar el suelo existente con base en el límite líquido y el índice de

plasticidad.

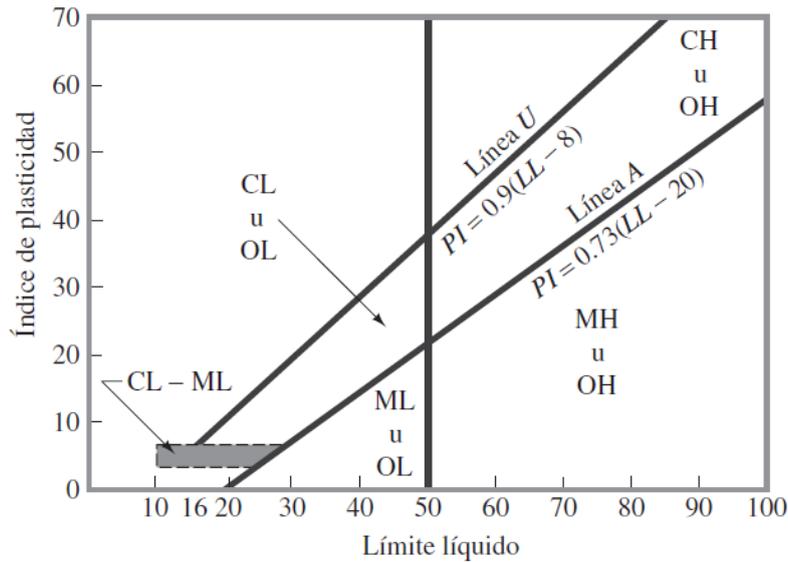


Figura 11: Grafica de plasticidad.

Fuente: (Braja, 2015).

Diagrama de flujo para los nombres de los grupos de grava y arena del suelo, figura 12.

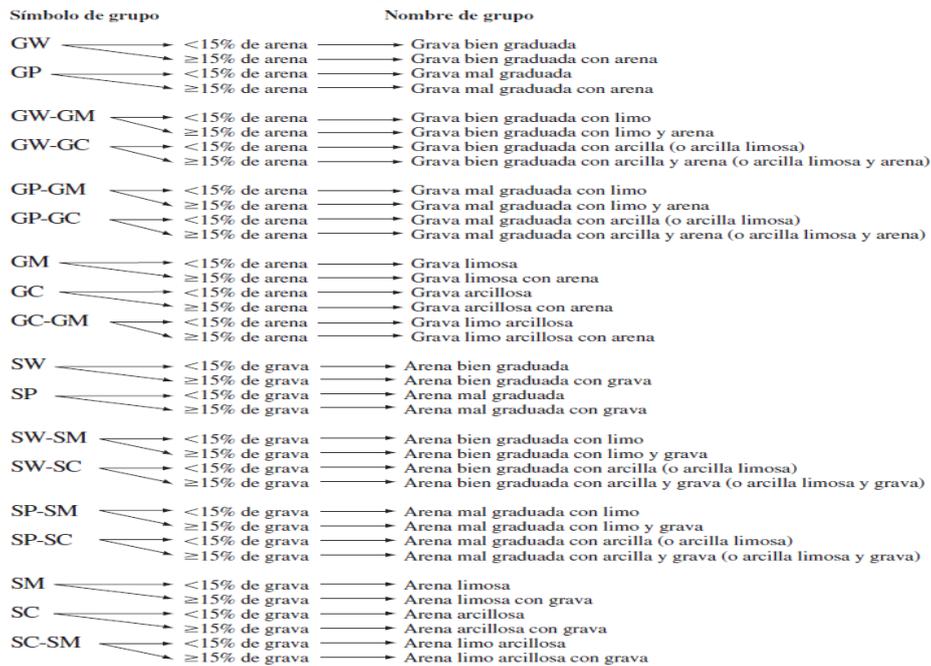


Figura 12: Símbolo y nombre de grupo.

Fuente: (Braja, 2015).



## 2.16. Humedad Natural (ASTM D-2216).

La humedad natural puede connotarse como la cantidad de agua que puede aglutinarse en el interior de cada partícula de arena (Hernández, 2019).

Por otro lado, la humedad natural se define como la relación entre el peso de granos del suelo y el peso del agua, para un volumen unitario. Su valor se expresa en % y puede alcanzar valores mayores del 100% (Braja, 2015).

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

$W_w$  = peso de agua.

$W_s$  = peso de sólidos.

## 2.17. Índice de plasticidad (ASTM D-4318).

Propiedad mecánica del suelo que determina la capacidad que puede soportar para ser moldeable y adoptarse a la geometría requerida (Hernández, 2019). En mecánica de suelos, el índice de plasticidad se define como la diferencia entre el punto de límite líquido y límite plástico.

$$PI = LL - PL$$

**Tabla 2.** Índice de plasticidad de la Arcilla Normal ASTM.

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	CARACTERÍSTICA
IP > 20	Suelos muy arcillosos
20 > IP > 10	Suelos arcillosos
10 > IP > 4	Suelos poco arcillosos
IP = 0	Suelos exentos de arcilla

**Fuente:** Manual de Carreteras, Suelos y Pavimentos.

## 2.18. Consistencia del suelo.

Cuando los minerales arcillosos están presentes en suelos de grano fino, el suelo puede girar a muy baja humedad sin agrietarse. Esta naturaleza pegajosa se debe a la absorción de agua alrededor de

las partículas del suelo. Albert Mauritz Atterberg desarrolló en 1900 un método para describir la consistencia de suelos de grano fino con contenido de humedad variable. A muy baja humedad, la arcilla se comporta como un sólido más quebradizo. Cuando la humedad es demasiado alta, el suelo y el agua fluyen como un líquido. Por tanto, dependiendo de la cantidad de agua, el comportamiento del suelo se puede dividir en cuatro estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido, como se muestra en la Figura 14.



**Figura 14: Límite de Mauritz Atterberg**

**Fuente:** (Braja, 2015).

El contenido de humedad en el que se produce la transición de sólido a semisólido, expresado como porcentaje, se denomina límite de contracción. El contenido de agua del plástico semisólido es el punto de fusión, y el contenido de agua del plástico al líquido es el punto de fusión. Estos límites también se conocen como límites de Atterberg.

### **2.19. Límite Líquido (LL) (ASTM D-4318).**

Suelo suspendido o hidratado. No tiene resistencia al corte y se comporta como un líquido, teniendo la forma de un recipiente.

El punto de fluencia es el porcentaje de humedad que el suelo puede retener después del secado y se determina mediante una prueba llamada Casagrande (Hernández, 2019).

El artefacto consiste en una copa marrón y una base de goma dura, y su límite de flujo se establece arbitrariamente, de modo que las dos mitades del mortero, de 10 mm de espesor y 12 mm de largo, deben perforarse y unirse entre sí. La prueba consiste en colocar una copa de 10 mm en la base de 25 brazos. Se recomienda probar al menos 3 veces en la misma capa porque es difícil lograr un cierre de 12 mm.



**Figura 15: Límite líquido. Método Casagrande**

**Fuente:** (Braja, 2015).

## **2.20. Límite plástico (LP) (ASTM D-4318).**

El punto de fluencia se refiere al contenido de humedad, expresado como porcentaje de suelo seco, en el cual el suelo puede cambiar de plástico a semisólido y de semisólido a sólido. Este rango se considera el nivel de humedad más bajo (Braja, 2015).

El proceso consiste en hacer rodar un uno por ciento de suelo ovalado sobre una placa de vidrio de 3,2 mm de diámetro, después de lo cual la arcilla se vuelve quebradiza debido a la pérdida de humedad y, si el suelo está bien definido, se mide el contenido de humedad. Muestra plasticidad al agregar agua para mantener la mezcla de arcilla en más cápsulas y probar el flujo. El procedimiento de prueba de límite elástico se proporciona en la designación ASTM D-4318 de ASTM. Cuando la ductilidad del suelo no es alta, se debe realizar una prueba de límite elástico e inmediatamente se debe realizar una prueba de límite elástico con la pasta de arcilla restante. Debe realizar este procedimiento 3 veces para obtener mejores resultados. Para determinar el límite elástico, el límite elástico se puede obtener mediante el método de penetración cónica. Esto se puede lograr con la ayuda de conos geométricos.

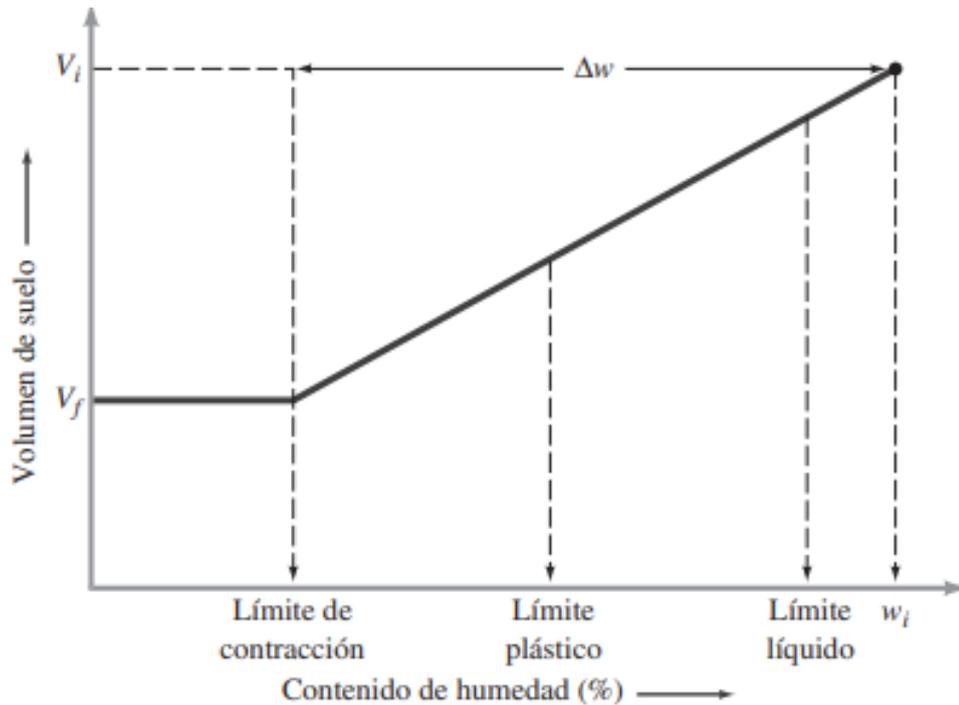


**Figura 16: Límite plástico**

**Fuente:** (Braja, 2015).

### **2.21. Límite de contracción (SL).**

Se refiere a la falta de humedad en el suelo, lo que cambia el volumen. Es el porcentaje del contenido de agua en el que cesa el cambio de volumen del suelo y se conoce como límite de contracción. Las pruebas de límite de contracción se realizaron en el laboratorio utilizando un plato de porcelana de aproximadamente 44 mm de diámetro y unos 13 mm de altura. Pule el interior del frasco con aceite mineral y luego llénalo con arcilla húmeda. Use una regla para eliminar el exceso de tierra del borde de la tabla y registre el peso de la tierra húmeda dentro de la tabla. Luego, la parte de arcilla de la olla se seca en un horno. El volumen de la fracción de arcilla secada en el horno se determina por descarga de mercurio. Este proceso se designó como ASTM D-427 y se suspendió en 2008. Debido a que la manipulación del mercurio puede ser peligrosa, el nombre ASTM D-4943 describe el método de sumergir parcialmente el mercurio seco en el horno. Cuando la arcilla parcialmente encerada se haya enfriado, determine su volumen sumergiéndola en agua (Braja, 2015).



**Figura 17: Definición del límite de contracción**

**Fuente:** (Beliver, 2021).

## 2.22. Relación de peso unitario – humedad en los suelos (ASTM D-422).

### Pruebas de compactación.

Actualmente existen muchas formas de realizar este método, al menos teóricamente. La prueba más utilizada en la actualidad es la llamada prueba de Proctor modificado, donde la energía de compresión es superior al estándar aplicado, es decir, es más adecuada para las presiones que imponen las estructuras modernas sobre el suelo. Además, en algunos casos, el llamado Proctor de 15 golpes se utiliza como condición. En si estos métodos consisten en compactar el suelo, en la figura 18 y figura 19 se especifican:

**Tabla 3.** Ensayo Proctor estándar (Basadas en la Norma ASTM 698).

ELEMENTO	METODO A	METODO B	METODO C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm <sup>3</sup>	943.3 cm <sup>3</sup>	2124 cm <sup>3</sup>
Peso del Martillo	24.2 N	24.2 N	24.4 N
Altura de la caída del Martillo	304.8 mm	304.8 mm	304.8 mm
Número de golpes del Martillo por capa de suelo	25	25	56

Número de capas de compactación	3	3	3
Energía de compactación	591.3 kN-m/m <sup>3</sup>	591.3 kN-m/m <sup>3</sup>	591.3 kN-m/m <sup>3</sup>
	Porción que pasa el tamiz núm. 4	Porción que pasa el tamiz de 9.5 mm	Porción que pasa el tamiz de 19 mm
	Puede ser utilizadas y el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz núm. 4	Puede utilizarse si el suelo retenido en el tamiz núm. 4 es más del 20% y 20% menos del peso es retenido del tamiz de 9.5 mm	Puede utilizarse si más del 20% del material es retenido en el tamiz de 9.5 mm y menos de 30% del peso es detenido en el tamiz de 19 mm

Fuente: (Braja, 2015).

**Tabla 4.** Prueba Proctor modificada (Basadas en la Norma ASTM 1577).

ELEMENTO	METODO A	METODO B	METODO C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm <sup>3</sup>	943.3 cm <sup>3</sup>	2124 cm <sup>3</sup>
Peso del Martillo	44.5 N	44.5 N	44.5 N
Altura de la caída del Martillo	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
Número de golpes del Martillo por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación	2696 kN-m/m <sup>3</sup>	2696 kN-m/m <sup>3</sup>	2696 kN-m/m <sup>3</sup>
	Porción que pasa el tamiz núm. 4	Porción que pasa el tamiz de 9.5 mm	Porción que pasa el tamiz de 19 mm
	Puede ser utilizadas y el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz núm. 4	Puede utilizarse si el suelo retenido en el tamiz núm. 4 es más del 20% y 20% menos del peso es retenido del tamiz de 9.5 mm	Puede utilizarse si más del 20% del material es retenido en el tamiz de 9.5 mm y menos de 30% del peso es detenido en el tamiz de 19 mm

Fuente: (Braja, 2015).

La energía específica de compactación se determina aplicando la siguiente fórmula:

$$Ee = \frac{N * n * W * h}{V}$$

Donde:

$E_e$  = Energía específica.

$N$  = Numero de golpes por capa.

$n$  = Número de capas de suelo.

$W$  = Peso del pisón.

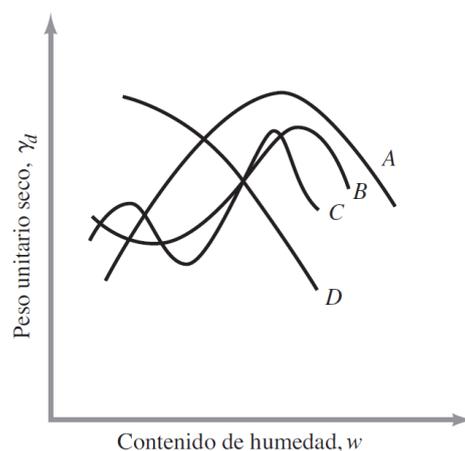
$H$  = Altura de caída libre del pisón.

$V$  = Volumen del suelo compactado.

Con este proceso de compactación, Proctor estudió el efecto de la humedad inicial del suelo en este proceso. Observó que, al aumentar el contenido de humedad, comenzando con un valor más bajo, se podía obtener una mayor compactación en seco y, por lo tanto, un mejor suelo, pero esta tendencia no ocurrió.

No hay límite, pero cuando el contenido de humedad supera un cierto valor, la densidad seca obtenida disminuye, lo que resulta en una menor reactividad en la muestra. En otras palabras, existe un contenido de humedad inicial llamado humedad óptima para el peso específico seco máximo que se puede lograr mediante esta compactación y, por lo tanto, la compactación óptima del suelo.

Utilice la curva de densidad seca para trazar los resultados de la prueba de compactación contra la curva de contenido de humedad, que se pueden ver en la Figura 20, para diferentes suelos.



**Figura 18:** Diferentes tipos de curvas de compactación encontradas en suelos.

**Fuente:** (Braja, 2015).

### 2.23. Ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R) (ASTM D-1883).

El número CBR resultante es la relación de la unidad de carga en kg/cm<sup>2</sup> (sistema internacional) o libras por pulgada cuadrada (psi) (sistema inglés) para obtener una profundidad de pistón dada (19,4 cm) en el costado. muestras de suelo compacto.

Contenido de agua y densidad informados en relación con la carga estándar específica requerida para lograr la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado, esto se expresa en la ecuación:

$$CBR = \frac{\text{Carga Unitaria de ensayo}}{\text{Carga Unitaria patrón}} * 100$$

Los valores de carga unitaria utilizados en la ecuación son:

**Tabla 5.** Valores de carga unitaria.

Penetración		Carga unitaria patrón		
mm	Pulgada	Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>	Psi
2,54	0,1	6,9	70	1000
5,08	0,2	10,3	105	1500
7,62	0,3	13,1	133	1900
10,16	0,4	15,8	162	2300
12,7	0,5	17,9	183	2600

El valor de CBR generalmente se basa en un factor de carga de penetración de 0,1 pulgadas (2,54 mm); sin embargo, si el valor de CBR posterior a la penetración es superior a 5,08 mm (0,2 pulgadas), debe considerarse como el valor final de CBR.

Las pruebas CBR generalmente se realizan en muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo en cuestión, según lo determinado por las pruebas de compactación estándar. Luego, usando el método 2 o 4 de ASTM D698-70 o D1557-70 (para moldes de 15,5 cm de diámetro), las muestras deben comprimirse usando las siguientes energías de compactación:

**Tabla 6: Energías de Compactación.**

Método	Golpes	Capas	Peso del Martillo N
D698 2(suelos de grano fino)	56	3	24,5
4(suelos gruesos)	56	3	24,5
D1557 2(suelos de grano fino)	56	5	44,5
4 (suelos gruesos)	56	5	44,5

La prueba CBR se utiliza para determinar la relación entre las propiedades de los suelos utilizados principalmente como cimientos y sub rasantes para carreteras y vías de aeropuerto, y la siguiente tabla proporciona una clasificación típica:

**Tabla 7: Clasificación de suelos para Infraestructura de pavimentos.**

CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0-3	muy pobre	subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	pobre regular	subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	subbase	OL, CL, ML, SC	A2, A4, A6, A7
			SM, SP	
20-50	Bueno	base, subbase	GM, GC, W, SM	A1b, A2-5, A3
			SP, GP	A2-6
>50	Excelente	base	GW, GM	A1-a, A2-4, A3

Hay varias formas de diseñar pavimentos en los cuales se leen directamente con el número CBR y se lee el espesor de la subrasante (Bowles).

#### **2.24. Ensayos a efectuarse.**

Los ensayos detallados a continuación presentan de manera simplificada la aplicabilidad de la norma.

**Tabla 8. Ensayo de granulometría.**

<b>Ensayo de Granulometría ASTM D-2487.</b>																																																																						
<b>Definición.</b>	Este ensayo indica los diferentes tipos de tamaños de sus partículas. La granulometría de los agregados es una parte de suma importancia en el diseño de hormigones.																																																																					
<b>Metodología.</b>	El procedimiento consta de una serie de tamices de números #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 que es para agregado fino y por supuesto una bandeja de agregado grueso de valor 1½", 1", ¾", ½", 3/8", #4, #8. Es importante mencionar que si desea llegar a su precisión de la muestra a realizar depende enteramente de la cantidad de tamices empleados.																																																																					
<b>Sistema de clasificación del grano.</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">Criterio para asignación de Símbolo de Grupo y Nombre de Grupo utilizando Pruebas de Laboratorio <sup>A</sup></th> <th colspan="2" style="text-align: center;">Clasificación del Suelo</th> </tr> <tr> <th colspan="3"></th> <th style="text-align: center;">Símbolo del Grupo</th> <th style="text-align: center;">Nombre del Grupo <sup>B</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6" style="vertical-align: top;">SUELOS DE GRANULOMETRÍA GRUESA Más del 50% es retenido en la malla No. 200</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: top;">Gravas Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No.4</td> <td style="text-align: center;">Gravas Limpias Menos del 5% de finos <sup>C</sup></td> <td style="text-align: center;"><math>Cu \geq 4 \text{ y } 1 \leq Cc \leq 3^E</math></td> <td style="text-align: center;">GW</td> <td style="text-align: center;">Grava bien graduada <sup>F</sup></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Gravas con Finos Más del 12% de finos <sup>C</sup></td> <td style="text-align: center;"><math>Cu &lt; 4 \text{ y } 1 &gt; Cc &gt; 3^E</math> Finos clasificados como ML ó MH</td> <td style="text-align: center;">GP</td> <td style="text-align: center;">Grava mal graduada <sup>F</sup></td> </tr> <tr> <td rowspan="4" style="vertical-align: top;">Arenas 50% ó más de la fracción gruesa pasa la malla No.4</td> <td style="text-align: center;">Arenas Limpias Menos del 5% de finos <sup>D</sup></td> <td style="text-align: center;"><math>Cu \geq 4 \text{ y } 1 \leq Cc \leq 3^E</math></td> <td style="text-align: center;">GM</td> <td style="text-align: center;">Grava limosa <sup>F,G,H</sup></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Arenas con Finos Más del 12% de finos <sup>D</sup></td> <td style="text-align: center;"><math>Cu &lt; 4 \text{ y } 1 &gt; Cc &gt; 3^E</math> Finos clasificados como CL ó CH</td> <td style="text-align: center;">GC</td> <td style="text-align: center;">Grava arcillosa <sup>F,G,H</sup></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Arenas Limpias Menos del 5% de finos <sup>D</sup></td> <td style="text-align: center;"><math>Cu \geq 4 \text{ y } 1 \leq Cc \leq 3^E</math></td> <td style="text-align: center;">SW</td> <td style="text-align: center;">Arena bien graduada <sup>I</sup></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Arenas con Finos Más del 12% de finos <sup>D</sup></td> <td style="text-align: center;"><math>Cu &lt; 4 \text{ y } 1 &gt; Cc &gt; 3^E</math> Finos clasificados como ML ó MH</td> <td style="text-align: center;">SP</td> <td style="text-align: center;">Arena mal graduada <sup>I</sup></td> </tr> <tr> <td rowspan="6" style="vertical-align: top;">SUELOS DE GRANULOMETRÍA FINA Más del 75% pasa a malla No. 200</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: top;">Arcillas y Limos Más del 75% menor a 0.075 mm</td> <td style="text-align: center;">Inorgánico</td> <td style="text-align: center;">IP &gt; 7 y puntos en ó sobre la línea "A"</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">Arcilla magra <sup>K,L,M</sup></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Orgánico</td> <td style="text-align: center;">IP &lt; 4 ó puntos debajo de la línea "A"</td> <td style="text-align: center;">ML</td> <td style="text-align: center;">Limo <sup>K,L,M</sup></td> </tr> <tr> <td rowspan="4" style="vertical-align: top;">Arcillas y Limos Más del 75% menor a 0.075 mm</td> <td style="text-align: center;">Inorgánico</td> <td style="text-align: center;">Límite líquido - secado al horno &lt; 0.75 Límite líquido - no secado</td> <td style="text-align: center;">OL</td> <td style="text-align: center;">Arcilla orgánica <sup>K,L,M,N</sup> Limo orgánico <sup>K,L,M,O</sup></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Inorgánico</td> <td style="text-align: center;">IP puntos en ó sobre la línea "A"</td> <td style="text-align: center;">CH</td> <td style="text-align: center;">Arcilla gruesa <sup>K,L,M</sup></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Orgánico</td> <td style="text-align: center;">IP puntos debajo de la línea "A"</td> <td style="text-align: center;">MH</td> <td style="text-align: center;">Limo elástico <sup>K,L,M</sup></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Orgánico</td> <td style="text-align: center;">Límite líquido - secado al horno &lt; 0.75 Límite líquido - no secado</td> <td style="text-align: center;">OH</td> <td style="text-align: center;">Arcilla orgánica <sup>K,L,M,P</sup> Limo orgánico <sup>K,L,M,Q</sup></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</td> <td style="text-align: center;">Sobre todo materia orgánica, color negro, y olor orgánico</td> <td style="text-align: center;">PT</td> <td style="text-align: center;">Turba</td> </tr> </tbody> </table>	Criterio para asignación de Símbolo de Grupo y Nombre de Grupo utilizando Pruebas de Laboratorio <sup>A</sup>			Clasificación del Suelo					Símbolo del Grupo	Nombre del Grupo <sup>B</sup>	SUELOS DE GRANULOMETRÍA GRUESA Más del 50% es retenido en la malla No. 200	Gravas Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No.4	Gravas Limpias Menos del 5% de finos <sup>C</sup>	$Cu \geq 4 \text{ y } 1 \leq Cc \leq 3^E$	GW	Grava bien graduada <sup>F</sup>	Gravas con Finos Más del 12% de finos <sup>C</sup>	$Cu < 4 \text{ y } 1 > Cc > 3^E$ Finos clasificados como ML ó MH	GP	Grava mal graduada <sup>F</sup>	Arenas 50% ó más de la fracción gruesa pasa la malla No.4	Arenas Limpias Menos del 5% de finos <sup>D</sup>	$Cu \geq 4 \text{ y } 1 \leq Cc \leq 3^E$	GM	Grava limosa <sup>F,G,H</sup>	Arenas con Finos Más del 12% de finos <sup>D</sup>	$Cu < 4 \text{ y } 1 > Cc > 3^E$ Finos clasificados como CL ó CH	GC	Grava arcillosa <sup>F,G,H</sup>	Arenas Limpias Menos del 5% de finos <sup>D</sup>	$Cu \geq 4 \text{ y } 1 \leq Cc \leq 3^E$	SW	Arena bien graduada <sup>I</sup>	Arenas con Finos Más del 12% de finos <sup>D</sup>	$Cu < 4 \text{ y } 1 > Cc > 3^E$ Finos clasificados como ML ó MH	SP	Arena mal graduada <sup>I</sup>	SUELOS DE GRANULOMETRÍA FINA Más del 75% pasa a malla No. 200	Arcillas y Limos Más del 75% menor a 0.075 mm	Inorgánico	IP > 7 y puntos en ó sobre la línea "A"	CL	Arcilla magra <sup>K,L,M</sup>	Orgánico	IP < 4 ó puntos debajo de la línea "A"	ML	Limo <sup>K,L,M</sup>	Arcillas y Limos Más del 75% menor a 0.075 mm	Inorgánico	Límite líquido - secado al horno < 0.75 Límite líquido - no secado	OL	Arcilla orgánica <sup>K,L,M,N</sup> Limo orgánico <sup>K,L,M,O</sup>	Inorgánico	IP puntos en ó sobre la línea "A"	CH	Arcilla gruesa <sup>K,L,M</sup>	Orgánico	IP puntos debajo de la línea "A"	MH	Limo elástico <sup>K,L,M</sup>	Orgánico	Límite líquido - secado al horno < 0.75 Límite líquido - no secado	OH	Arcilla orgánica <sup>K,L,M,P</sup> Limo orgánico <sup>K,L,M,Q</sup>	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Sobre todo materia orgánica, color negro, y olor orgánico	PT	Turba
Criterio para asignación de Símbolo de Grupo y Nombre de Grupo utilizando Pruebas de Laboratorio <sup>A</sup>			Clasificación del Suelo																																																																			
			Símbolo del Grupo	Nombre del Grupo <sup>B</sup>																																																																		
SUELOS DE GRANULOMETRÍA GRUESA Más del 50% es retenido en la malla No. 200	Gravas Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No.4	Gravas Limpias Menos del 5% de finos <sup>C</sup>	$Cu \geq 4 \text{ y } 1 \leq Cc \leq 3^E$	GW	Grava bien graduada <sup>F</sup>																																																																	
		Gravas con Finos Más del 12% de finos <sup>C</sup>	$Cu < 4 \text{ y } 1 > Cc > 3^E$ Finos clasificados como ML ó MH	GP	Grava mal graduada <sup>F</sup>																																																																	
	Arenas 50% ó más de la fracción gruesa pasa la malla No.4	Arenas Limpias Menos del 5% de finos <sup>D</sup>	$Cu \geq 4 \text{ y } 1 \leq Cc \leq 3^E$	GM	Grava limosa <sup>F,G,H</sup>																																																																	
		Arenas con Finos Más del 12% de finos <sup>D</sup>	$Cu < 4 \text{ y } 1 > Cc > 3^E$ Finos clasificados como CL ó CH	GC	Grava arcillosa <sup>F,G,H</sup>																																																																	
		Arenas Limpias Menos del 5% de finos <sup>D</sup>	$Cu \geq 4 \text{ y } 1 \leq Cc \leq 3^E$	SW	Arena bien graduada <sup>I</sup>																																																																	
		Arenas con Finos Más del 12% de finos <sup>D</sup>	$Cu < 4 \text{ y } 1 > Cc > 3^E$ Finos clasificados como ML ó MH	SP	Arena mal graduada <sup>I</sup>																																																																	
SUELOS DE GRANULOMETRÍA FINA Más del 75% pasa a malla No. 200	Arcillas y Limos Más del 75% menor a 0.075 mm	Inorgánico	IP > 7 y puntos en ó sobre la línea "A"	CL	Arcilla magra <sup>K,L,M</sup>																																																																	
		Orgánico	IP < 4 ó puntos debajo de la línea "A"	ML	Limo <sup>K,L,M</sup>																																																																	
	Arcillas y Limos Más del 75% menor a 0.075 mm	Inorgánico	Límite líquido - secado al horno < 0.75 Límite líquido - no secado	OL	Arcilla orgánica <sup>K,L,M,N</sup> Limo orgánico <sup>K,L,M,O</sup>																																																																	
		Inorgánico	IP puntos en ó sobre la línea "A"	CH	Arcilla gruesa <sup>K,L,M</sup>																																																																	
		Orgánico	IP puntos debajo de la línea "A"	MH	Limo elástico <sup>K,L,M</sup>																																																																	
		Orgánico	Límite líquido - secado al horno < 0.75 Límite líquido - no secado	OH	Arcilla orgánica <sup>K,L,M,P</sup> Limo orgánico <sup>K,L,M,Q</sup>																																																																	
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Sobre todo materia orgánica, color negro, y olor orgánico	PT	Turba																																																																		

**Figura 1. Carta de clasificación de suelos.**

**Fuente:** (ASTM D 2487-93).

Este sistema clasifica a los granos en tres categorías esenciales; grano grueso, suelos de grano fino, y suelos orgánicos. Estas tres divisiones primordiales posteriormente se subdividen en 15 grupos básicos del suelo (ASTM D 2487-93).

<p><b>Preparación para la clasificación.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antes de iniciar la clasificación es necesario tamizar en suelo en una primera ocasión hasta obtener una granulometría del material menor a 3" (76.2 mm); el material menor a la malla No. 40 tiene como características su plasticidad.</li> <li>• Las operaciones para la preparación de los especímenes están detalladas en los apéndices X3; X4.</li> <li>• Se deberá examinar y reportar cualquier otro material mayor al 3" (76.2 mm) basados del porcentaje respecto al peso seco.</li> </ul>
<p><b>Pruebas requeridas para la preparación.</b></p>	<p>Se debe realizar una curva granulométrica con los porcentajes acumulados incluyendo los fragmentos más gruesos que el tamiz No. 200 (75 mm), para suelos que tenga un contenido de fino menor al 5%.</p> <p>Por otra parte, los suelos que presenten una capacidad de material fino entre el 5% al 15% también se realizara la curva granulométrica como se describe en el párrafo anterior, así como el límite líquido como el índice plástico. En caso de no encontrar un material apto para establecer el límite líquido como el índice de plasticidad, se requerirá evaluar si este tipo de material fino es limo o arcilla aplicando los ordenamientos mencionados en la Práctica D 2488. Es necesario ser registrado en el informe. En caso de suelos con un porcentaje del 15% o superior a este en materiales finos, se evaluará los porcentajes de grava, arena y finos, así como también se ejecutará el límite líquido e índice de plasticidad. Por otra parte, los materiales finos que estén en el 90% o superior a este el porcentaje de finos, arena y grava puede emplear los procedimientos detallados en la Práctica D 2488 (ASTM D 2487-93, p. 5).</p>

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 9. Ensayo de Humedad Natural.**

<b>Humedad Natural ASTM D-2216.</b>	
<b>Definición.</b>	Esta norma hace referencia a un ensayo determinando en el laboratorio el contenido de agua y/o humedad por unidad de masa de materiales similares, suelo y roca en el cual la reducción de la masa por secado será por la pérdida del agua excepto para algunos materiales los cuales hacen referencia el “Material Sólido” (Merino, 2006).
<b>Equipos empleados.</b>	<p>Horno secador.</p> <p>Horno de características termoestables de proyección forzada, que mantiene una temperatura estandarizada de 110 °C para todo el dispositivo de secado (Merino, 2006).</p> <p>Balanzas.</p> <p>El GP1 es una clase de balanza para lecturas de hasta 0.01 g, es necesario disponer prototipos que carguen hasta 200 g. El GP2 es otra balanza que da lecturas de 0.1 g, donde el peso puede ser mayor de 200 g. (ASTM D-2216 – 98, 1998)</p> <p>Contenedores de especímenes.</p> <p>Contenedores o recipientes de material resistente a la corrosión de tapas ajustables que permitan proveer la pérdida de humedad.</p> <p>Desecador.</p> <p>Recipiente de desecado apropiado al tamaño de la muestra que incluye un gel de sulfato de calcio anhídrido o sílice (ASTM D-2216 – 98, 1998).</p>
<b>Muestras.</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Las muestras extraídas deben de ser transportadas y preservadas cuidadosamente; según la práctica 4220 (ASTM D-2216 – 98, 1998).</li> <li>2. Una vez extraídas las muestras estas deben estar en un recipiente que no afecten y presenten corrosión, con una temperatura de 3 a 30 °C aproximadamente y no debe estar expuesto a la luz solar.</li> </ol>

	<p>3. Los materiales alterados deben ser colocados en recipientes donde deben ser almacenados considerando la prevención de los recipientes.</p>
<p><b>Procedimiento.</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se debe tomar el peso del recipiente sin la muestra, posteriormente se pesa ya con la muestra conociendo el peso del recipiente.</li> <li>2. Seleccionar de acuerdo al número de especímenes detalladamente con base en la norma. (ASTM D-2216 – 98, 1998)</li> <li>3. Colocar la muestra una vez que la misma haya sido pesada.</li> <li>4. Colocar el material en el horno. El secado va a depender de la capacidad y el tipo de horno a utilizar, el tamaño del material y otros factores que influyen en este (ASTM D-2216 – 98, 1998).</li> <li>5. Calcular el contenido de humedad con la ecuación: <math display="block">w = \left[ \frac{(M_{cws} - M_{cs})}{M_{cs} - M_c} \right] * 100 = \frac{M_w}{M_s} * 100</math> <p>Donde:</p> <p><math>w</math> = contenido de humedad, %.</p> <p><math>M_{cws}</math> = peso de recipiente y el espécimen húmedo, g.</p> <p><math>M_{cs}</math> = peso del recipiente y el peso del espécimen secado, g.</p> <p><math>M_c</math> = peso del recipiente, g.</p> <p><math>M_w</math> = peso del agua (<math>M_w = M_{cws} - M_{cds}</math>), g.</p> <p><math>M_s</math> = peso de las partículas sólidas (<math>M_s = M_{cds} - M_c</math>), g.</p> </li> </ol>

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 10. Ensayo de Líquido, índice plástico**

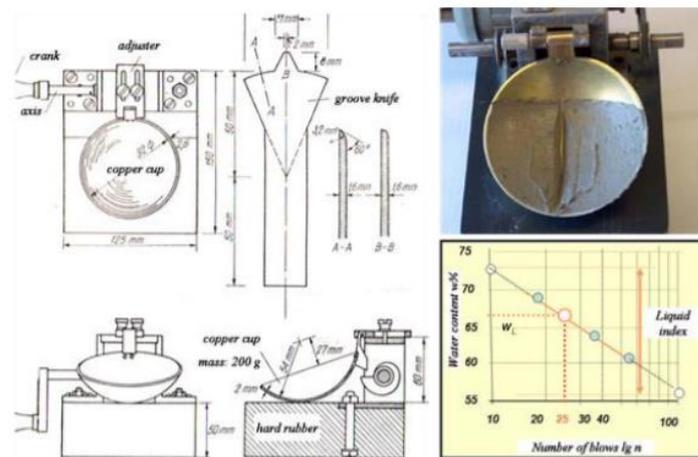
<b>Humedad Natural ASTM D 4318-05</b>	
<b>Definición</b>	Esta normativa cubre los ensayos de límite líquido, límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos
<b>Métodos de preparación</b>	<p>Método de preparación seca</p> <p>Ver literal 10.2 de la norma</p> <p>Método de preparación Húmeda</p> <p>Ver literal 10.1 de la norma</p>
<b>Aplicación del Método</b>	<p>El material retenido en la malla 425 <math>\mu\text{m}</math> (N.º 40) pasa a ser agitado.</p> <p>El límite plástico es determinado por la masa del suelo, donde podemos formar un hilo, con un diámetro de 3.2 mm (1/8 de pulgada) esta es una pequeña fracción de suelo plástico, mientras el contenido de agua se va evaporando, el hilo empieza a presentar fisuras hasta que logra quebrarse por tanto ya no puede ser presionado ni re-enrollado.</p> <p>Para encontrar el índice de plasticidad se debe conocer el límite líquido y el límite plástico porque la diferencia de estos dos es el resultado del índice plástico. (ASTM D 4318 – 05).</p>
<b>Límite elástico Preparación del modelado de ensayo</b>	Opte por una ración en gramos mayor o igual a 20 del asentamiento a analizar. Es necesario tener el muestreo para la evaluación de límite de fluido (líquido): ya sea, después de la segunda mezcla previo al ensayo.

Se debe disminuir la cabida de humedad de la superficie o suelo a una resistencia óptima para ser rodillada, evitando el uso de las manos, y continuamente agitando encima de una hoja de vidrio en el recipiente de la mezcla / almacenaje. Es importante considerar lo siguiente

N (Número de golpes)	K (Factor para límite líquido)
20	0.973
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014

**Figura 2.** Factores para obtener Límite líquido a partir del contenido de humedad y número de golpes que causa el cierre de la ranura.

**Fuente:** (ASTM D 4318 – 05).



**Figura 3.** Ensayo de Casagrande.

**Fuente:** (ASTM D 4318 – 05).

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Tabla 11. Relación peso unitario-humedad del suelo.**

<b>Relación peso unitario- humedad natural ASTM D 1557.</b>																																																							
<b>Definición.</b>	<p>Pruebas de compactación.</p> <p>Pruebas que permiten el análisis o recreación en laboratorio de aspectos similares a los planteados en terreno.</p>																																																						
<b>Métodos de preparación.</b>	<p>El ensayo responde al nombre de Proctor Modificado en el que se ejerce una fuerza para la compactación alrededor de 15 a 55 golpes dependiendo del método Proctor.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Método Proctor</th> <th>N</th> <th>Tamaño molde (cm)</th> <th>Volumen molde (cm)</th> <th>Pisón (kg)</th> <th>Nº Capas</th> <th>Altura caída (cm)</th> <th>Nº Golpes</th> <th>Energía compac. / volumen (kg*m/m3)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ESTÁNDAR</td> <td>1</td> <td>11.64*10.16</td> <td>943.33</td> <td>2.49</td> <td>3</td> <td>30.48</td> <td>25</td> <td>60.500</td> </tr> <tr> <td>ESTÁNDAR</td> <td>2</td> <td>11.64*15.24</td> <td>2123.03</td> <td>2.49</td> <td>3</td> <td>30.48</td> <td>55</td> <td>60.500</td> </tr> <tr> <td>MODIFICADO</td> <td>3</td> <td>11.64*10.16</td> <td>943.33</td> <td>2.49</td> <td>5</td> <td>45.72</td> <td>25</td> <td>275.275</td> </tr> <tr> <td>MODIFICADO</td> <td>4</td> <td>11.64*15.24</td> <td>2123.03</td> <td>2.49</td> <td>5</td> <td>45.72</td> <td>55</td> <td>275.275</td> </tr> <tr> <td>15 GOLPES</td> <td>5</td> <td>11.64*10.16</td> <td>943.33</td> <td>2.49</td> <td>3</td> <td>30.48</td> <td>15</td> <td>36.400</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><b>Figura 4. Método Proctor.</b> <b>Fuente:</b> (Ensayo de Proctor).</p>	Método Proctor	N	Tamaño molde (cm)	Volumen molde (cm)	Pisón (kg)	Nº Capas	Altura caída (cm)	Nº Golpes	Energía compac. / volumen (kg*m/m3)	ESTÁNDAR	1	11.64*10.16	943.33	2.49	3	30.48	25	60.500	ESTÁNDAR	2	11.64*15.24	2123.03	2.49	3	30.48	55	60.500	MODIFICADO	3	11.64*10.16	943.33	2.49	5	45.72	25	275.275	MODIFICADO	4	11.64*15.24	2123.03	2.49	5	45.72	55	275.275	15 GOLPES	5	11.64*10.16	943.33	2.49	3	30.48	15	36.400
Método Proctor	N	Tamaño molde (cm)	Volumen molde (cm)	Pisón (kg)	Nº Capas	Altura caída (cm)	Nº Golpes	Energía compac. / volumen (kg*m/m3)																																															
ESTÁNDAR	1	11.64*10.16	943.33	2.49	3	30.48	25	60.500																																															
ESTÁNDAR	2	11.64*15.24	2123.03	2.49	3	30.48	55	60.500																																															
MODIFICADO	3	11.64*10.16	943.33	2.49	5	45.72	25	275.275																																															
MODIFICADO	4	11.64*15.24	2123.03	2.49	5	45.72	55	275.275																																															
15 GOLPES	5	11.64*10.16	943.33	2.49	3	30.48	15	36.400																																															
<b>Criterio de análisis a emplear.</b>	<p>Para el método Proctor 1 y 3 en referencia a la tabla anterior son para suelos que poseen un porcentaje alto de acuerdo al tamiz #4 = 4.76 mm. La energía estimada para compactar debe calcularse basándonos en la siguiente ecuación:</p> $Ee = \frac{N * n * W * h}{V}$ <p>Donde:</p> <p>Ee: energía específica.</p> <p>N: número de golpes.</p> <p>n: Número de capas de suelo.</p> <p>W: peso del pistón.</p> <p>H: Altura de caída libre del pistón.</p> <p>V: volumen del suelo compactado.</p>																																																						

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Tabla 12. Ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R).**

<b>Ensayo de California Bearing Ratio ASTM D 1883.</b>	
<b>Definición.</b>	Se procede a realizar el ensayo cuando el suelo ha sido preparado por medio de condiciones estándar de humedad y densidad.
<b>Aparatos.</b>	<p>Prensa.</p> <p>Deslizamiento entre el cabezal y la base debe ser regulado a una velocidad constante de 1.27 mm (0,0052) por minuto.</p> <p>La carga de la prensa debe estar comprendida en 1000 lbf.</p> <p>Molde, de metal, cilíndrico, de 152,4 mm <math>\pm</math> 0.66 mm (6 <math>\pm</math> 0.026") de diámetro interior y de 177,8 <math>\pm</math> 0.46 mm (7 <math>\pm</math> 0.018") de altura, provisto de un collar de metal secundario (o suplementario) de 50.8 mm (2") de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm (3/8") de espesor.</p> <p>En lo que respecta a las perforaciones estas no excederán de 1.6 mm (28 1/16").</p> <p>Disco espaciador, de metal, de forma circular, de 150.8 mm (5 15/16") de diámetro exterior y de 61,37 <math>\pm</math> 0,127 mm (2,416 <math>\pm</math> 0,005") de espesor.</p> <p>El pistón de compactación deberá ser igual al empleado en el ensayo de Proctor modificado (MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES, 2016).</p>



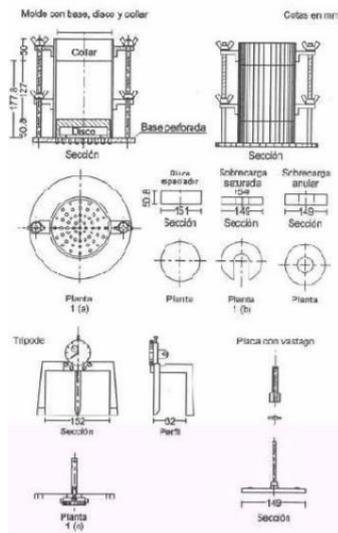
**Figura 5.** Aparatos del CBR.

**Fuente:** (ASTM D-1883, 2000).

Placa de metal perforada, por cada molde, de 149.2 mm (5 7/8") de diámetro.

Pesas: dos pesas anulares que tengan una masa total de  $4.54 \pm 0,02$  kg.

Pesas ranuradas de metal con masa igual a  $2,27 \pm 0,02$  kg. (MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES, 2016).



**Figura 6.** Placa de metal.

**Fuente:** (ASTM D-1883, 2000).

Procedimiento.

Preparación de la muestra.

Si el peso de la muestra supera el 75% es necesario pasar por un tamiz de características ¾" de pulgada (o 19.1 mm), como consiguiente, se prosigue a aplicar el material que paso inicialmente por el tamiz, de ser necesario, si el valor supere el 25 % del peso neto, se prosigue a separar el material de mayor tamaño que no fluyo a través del tamiz , sustituyéndose este por una cantidad de símil material que se encuentra entendido entre los tamices de ¾ de pulgada. (ASTM D-1883, 2000, pág. ).

Elaboración de especímenes.

Se pesa el material con su molde y base, colocando el disco espaciador y el collar sobre este se coloca un disco de papel filtro grueso del mismo diámetro (ASTM D-1883, 2000, pág. ).

Inmersión.

Colocar sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y encima de ellos se localizarán los anillos necesarios para completar una sobrecarga y general una presión igual a 2,27 kg (5,5 lb) correspondientes a una pesa. Nota: Bajo ninguna circunstancia, la sobrecarga total será menor de 4,54 kg es decir 10 lb.

Determinación del factor de compactación.

La fórmula a emplear responde a la siguiente:

$$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$$

Donde:

H= humedad prefijada.

h= humedad natural.

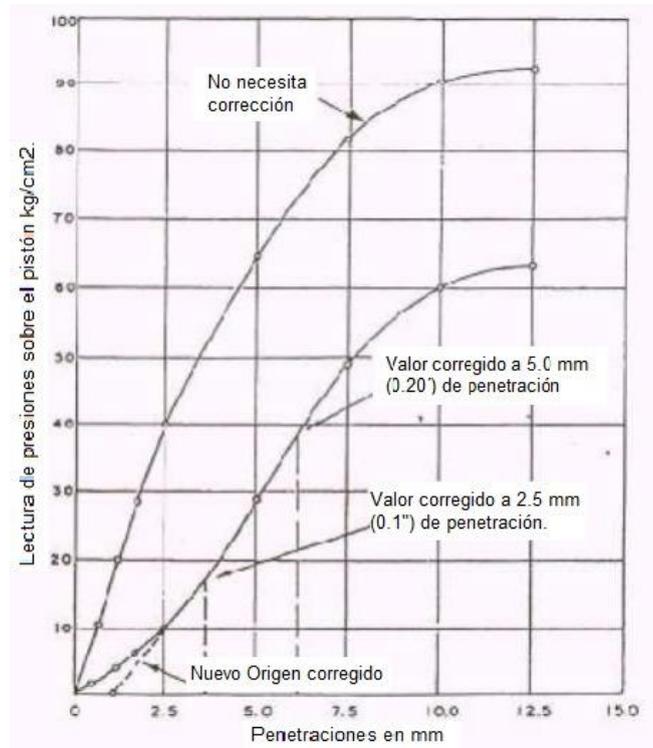
Factor de expansión.

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L2 - L1}{127} \times 100$$

Donde:

L1= Lectura inicial en mm.

L2= Lectura final en mm.



**Figura 19: Cálculo de índice del CBR**

**Fuente:** (ASTM D-1883, 2000).

**Fuente:** Elaboración Propia.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.**

### **3.1. Nivel o tipo de investigación.**

#### **3.1.1. Exploratorio.**

Es un tipo de investigación exploratoria, ya que estudiamos el suelo como material que se utiliza como capa de cimentación de una carretera, examinando sus características específicas y posibilidades de mejorarlo mediante ensayos de laboratorio.

#### **3.1.2. Descriptivo.**

El presente estudio es descriptivo, ya que refleja el análisis real de un mejoramiento in situ, y las características de ese material ya han sido mejoradas mediante la adición de un sinnúmero de componentes como el cemento, aditivos químicos y emulsión asfáltica.

#### **3.1.3. Explicativo.**

Esta investigación es de tipo explicativo, ya que se obtuvo información de referencia de lecciones, documentos y procedimientos para estudiar el mejoramiento de la plataforma con la incorporación de minerales.

### **3.2. Tipo de investigación.**

#### **3.2.1. Investigación Experimental.**

La investigación utilizada en este proyecto es experimental, por lo tanto, se realizan pruebas de laboratorio como tamaño de partícula, consistencia y compacidad para determinar la capacidad de carga y densidad del suelo con el fin de aumentar su resistencia al corte del suelo. Todas las muestras para análisis fueron tomadas directamente de 1 km de camino secundario en el distrito de Shuyo, estado de Riobamba, provincia de Chimborazo.

#### **3.2.2. Muestra.**

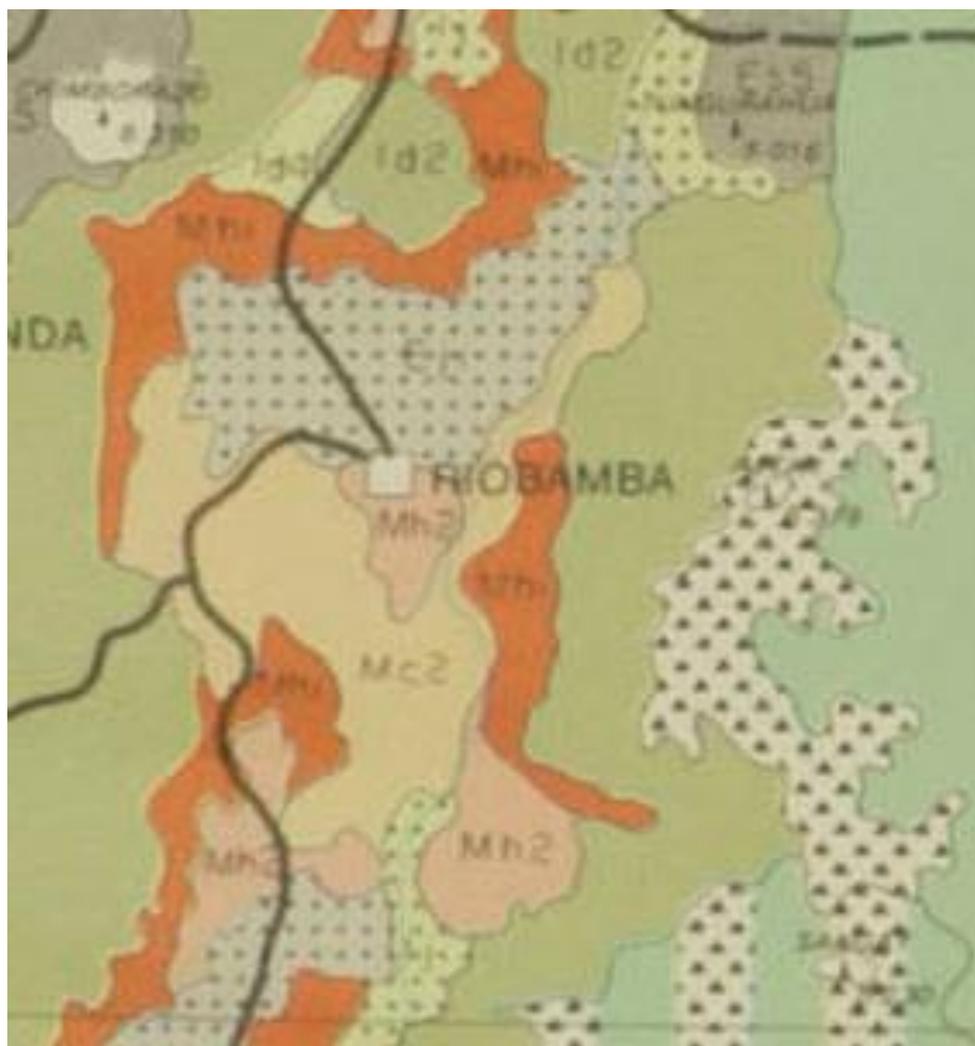
En base a mapas geológicos de suelos del Ecuador se determinó el tipo de suelo dependiendo del lugar a extraer.



**Figura 20: Mapa Geológico de Suelos del Ecuador.**

**Fuente:** Mapa General de Suelos del Ecuador. Mapa Base I.G.M. (Vallejo, 1986).

El proyecto consta del tipo de suelo fue obtenido de la provincia de Chimborazo en el sector el Shuyo



**Figura 21: Mapa Geológico de Suelos del Ecuador**

**Fuente:** Mapa General de Suelos del Ecuador. Mapa Base I.G.M. (Vallejo, 1986).

**Tabla 13. Descripción del Suelo GM de acuerdo al Mapa Geológico.**

Clima, zonas de humedad y temperatura		Fisiografía y relieve	Características de los suelos	Suelo Tipo	Simbología
Seco	Templado	Relieves ondulados a colinados de las vertientes y partes bajas norte y centro	Duripán (cangahua) a menos de 1 m de profundidad; pardos; arenosos finos; pH neutro a ligeramente alcalino con CO <sub>3</sub> Ca	Grava limosa	GM

**Fuente:** Mapa General de Suelos del Ecuador. Mapa Base I.G.M. (Vallejo, 1986).

### 3.3. Descripción de los suelos a estabilizar.

Los suelos a estabilizar son suelos grava limosa, por lo que su estructura es inestable y debe ser pretratada para que sean funcionales para la construcción por lo cual los diferentes tipos de suelo grava limosa se presentan a continuación.

El proyecto de estabilización se ocupa de los suelos de las regiones montañosas.

**Suelo limoso:** debido a su grano fino, se confunde fácilmente con arcilla o arena. Sus partículas suelen ser de origen mineral y varían en tamaño desde 0,05 mm. Una de sus características es su baja plasticidad. Por lo tanto, los tipos de suelo clasificados como francos no tienen ningún potencial de adición. Este material filtra rápidamente el agua.

**Suelo de grava:** este material está hecho de fragmentos de roca de más de un cuarto de pulgada. Aunque la grava no tiene capacidad de cohesión o plasticidad, se considera muy estable para cimientos y terraplenes. Entre todos los tipos de suelo, es el suelo con mayor permeabilidad. A medida que cambia el tamaño del grano, aumenta su consistencia.

### 3.4. Extracción de Muestra.

Se tomó varios kilogramos por el tipo de suelo en el tramo de la vía de 1 kilometro, en las Abs. 0+200 y Abs. 0+900, de acuerdo al siguiente detalle:

**Tabla 14. Peso total del suelo Grava Limosa.**

Grava Limosa			
Muestra (g)	Descripción	Número de Ensayos	Total (Kg)
800 g	Granulometría	1	0,8 kg
24000 g	Ensayos Proctor	10	240 kg
18000 g	Ensayos CBR	10	180 kg
Total, de la muestra			420,8 kg

**Fuente:** Elaboración propia.

En la figura se observa la recolección de la muestra para los ensayos posteriores.



**Figura 22: Recolección de muestras.**

**Fuente:** Elaboración propia.

Para la prueba del tamaño de partícula, solo se necesita una prueba con un peso de muestra de 800 gr. Según norma (ASTM D 421 - 78 / AASHTO T 87-70).

Para la prueba Proctor modificada se realizaron tres pruebas por cada porcentaje de composición del suelo con cemento, emulsión asfáltica, aditivo químico y natural, cada prueba requirió un peso de 24000 g según norma (AASHTO T - 180 y ASTM D-1557), en total hay 10 pruebas con un peso requerido estimado de una muestra de 240 kg.

Se realizaron tres pruebas CBR por cada porcentaje de cemento, emulsión asfáltica, aditivo químico y uno por el natural, para un total de 10 pruebas, requiriendo 18000 gr para cada prueba, según norma (ASHTO T 193-63 y ASTM D 1883-73). Se utilizó un total de muestras de 180 kg.

### **3.5. Desarrollo Experimental.**

#### **3.5.1. Hipótesis.**

La estabilización de suelos grava limosa mediante la utilización de materiales como el cemento, emulsión asfáltica y aditivo químico.

#### **3.5.2. Variable Independiente.**

Estabilizaciones de suelo para un tipo grava limoso, mediante diferentes materiales como el cemento, emulsión asfáltica y aditivo químico.

**Tabla 15. Conceptualización de la Variable Independiente.**

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
<p>Estabilización:</p> <p>La estabilización de suelos con el uso de materiales presenta un desarrollo en sus propiedades naturales del suelo mejorando la estructura y su capacidad de resistencia.</p>	Suelos Arenosos finos	Densidad Real	¿Cuáles son los requerimientos de un suelo para cumplir con su granulometría, densidad real y plasticidad?	<p>Normas ASTM</p> <p>Investigación Bibliográfica</p>
	Suelos Arcillosos	Granulometría Plasticidad		
	Mediante la utilización de cemento, emulsión asfáltica y aditivo químico	Proctor Modificado Ensayos CBR	¿Cómo obtener máximos porcentajes de CBR combinados con cemento, emulsión asfáltica y aditivo químico?	<p>Normas ASTM</p> <p>Investigación Bibliográfica</p>

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.3. Variable Dependiente.

Mejoramiento de las características mecánicas.

**Tabla 16. Conceptualización de la Variable Dependiente.**

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
<p><b>Mejoramiento de las características mecánicas:</b></p> <p>Propiedad por el cual se define la resistencia de un suelo sometido a cargas exteriores y la capacidad de soporte</p>	<p>Mejoramiento:</p> <hr/> <p>Suelos grava limosa</p>	<p>Suelo natural compactado</p> <hr/> <p>Suelo estabilizado</p>	<p>¿Cuál es la capacidad máxima obtenida de un suelo estabilizado?</p>	<p>Normas ASTM</p> <p>Investigación de laboratorio</p> <p>Norma: ASTM</p>

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.4. Plan de recolección de información.

**Tabla 17. Plan de recolección de información.**

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
¿Para qué?	Para determinar si la estabilización de suelos grava limosa mejoran la resistencia al corte.
¿A quiénes?	A varios ensayos realizados en las muestras de suelos tomados.
¿Sobre qué aspectos?	Resistencia al corte obtenido mediante el Ensayo de Compresión No confinada. CBR obtenido mediante el ensayo de Relación de Soporte de California.

<b>¿Quién?</b>	El investigador
<b>¿Cuándo?</b>	En un periodo entre octubre 2021 y enero 2022
<b>¿Dónde?</b>	Laboratorio de Ensayos de Materiales Y Mecánica de Suelos
<b>¿Técnicas de Recolección?</b>	Mediante especificaciones y normas apropiadas para nuestro país como la ASTM. Resultados por medio de ensayos de laboratorio

**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.6. Plan de procesamiento y análisis.**

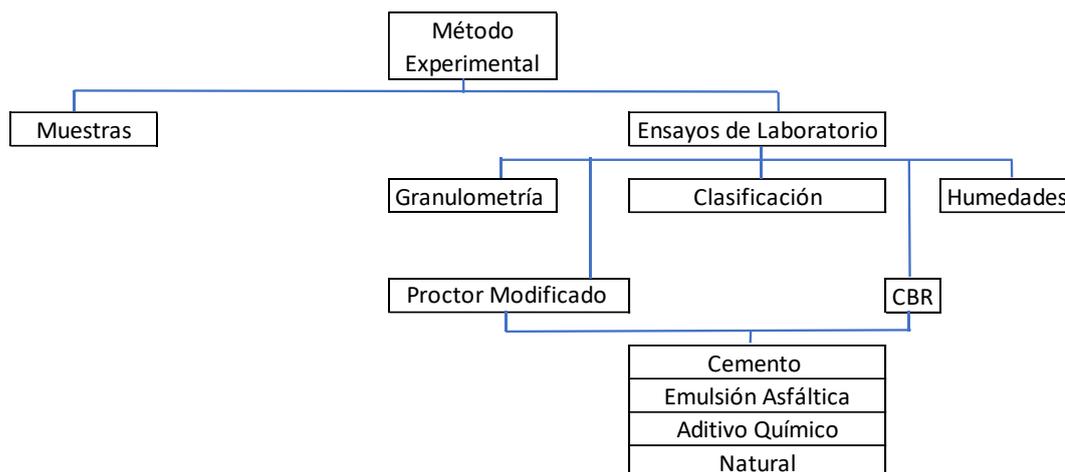
#### **3.6.1. Plan de procesamiento de información.**

- Información sobre la adquisición de materiales a utilizar.
- Reserve una cantidad suficiente de muestras para analizar.
- Usar tablas y gráficos, recopilar información de pruebas y realizar cálculos para determinar los resultados.

#### **3.6.2. Plan de Análisis e Interpretación de resultados.**

- Analizar e interpretar los resultados obtenidos según los objetivos e hipótesis específicos.
- Evaluación de hipótesis en relación a los resultados obtenidos durante lo realizado en laboratorio.

Se pretende alcanzar los objetivos de la investigación mediante la realización de la estabilización de un suelo grava limosa, mediante diferentes materiales como el cemento, emulsión y aditivo químico. En la planificación se prevé 2 etapas a desarrollar. La investigación se llevó a cabo durante un periodo académico de 4 meses.



**Figura 23: Caracterización de los materiales.**

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.7. Instrumentos de investigación.

La investigación se realizó vía experimentación con el fin de contrastar los resultados recientes con los análisis de laboratorio de los ensayos de granulometría, Proctor y CBR. Los análisis realizados por los laboratorios permitieron determinar las características mecánicas del suelo en el sector del Shuyo en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.

### 3.8. Validez y confiabilidad de los instrumentos.

Los instrumentos implicados en la investigación fueron previamente calibrados y verificados por el laboratorio de acuerdo a su certificación de calidad y de acreditación según las normativas ASTM y AASHTO.

### 3.9. Procedimiento de estabilización.

Para demostrar la efectividad del método de estabilización se llevará a cabo los diferentes ensayos en el laboratorio primero fue necesario la preparación de la muestra, seleccionando la cantidad en peso de grava-limosa y los diferentes materiales para poder efectuar la estabilización como el cemento, emulsión asfáltica y aditivo químico.

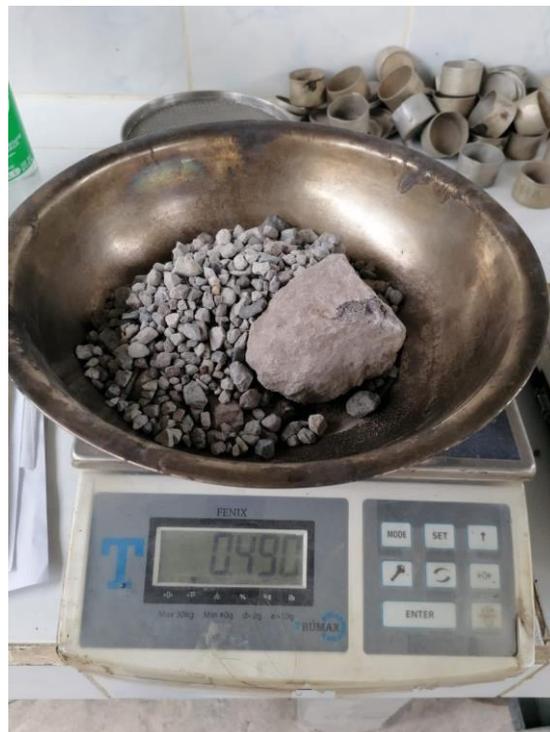
#### 3.9.1. Ensayo de Granulometría ASTM D-2487.

Se pesa 10908 g del material extraída de la vía del sector Shuyo, y se procede realizar la granulometría.



**Figura 24: Muestra Grava-limosa**

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 25: Realización de ensayo de granulometría.**

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 26: Ensayo de granulometría.**

**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.9.2. Relación peso unitario- humedad natural ASTM D 1557.**

Se prepara la muestra con emulsión asfáltica 2%, 4% y al 6%, una vez pesado se procede a mezclar rápidamente.



**Figura 27: Preparación de muestra con Emulsión Asfáltica para el Ensayo de Compactación**

**Fuente:** Elaboración propia.

Se prepara la muestra con cemento 1%, 3% y al 5%.



**Figura 28: Preparación de muestra con Cemento para el Ensayo de Compactación**

**Fuente:** Elaboración propia.

Se prepara la muestra con aditivo 0.5 - cemento 1%, aditivo 0.5 – cemento 0.75% y aditivo 0.75 – cemento 1%.



**Figura 29: Preparación de muestra con Terrasil para el Ensayo de Compactación**

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 30: Ensayo de Compactación**

**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.9.3. Ensayo de California Bearing Ratio ASTM D 1883.**

Se realizo 3 moldes con 56, 25 y 10 golpes con los materiales de cemento, emulsión asfáltica y aditivo químico



**Figura 31: Preparación de cilindros de ensayo CBR.**

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 32:** Sumergiendo en el agua los cilindros de ensayo CBR

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 33:** Ensayando los cilindros de CBR.

**Fuente:** Elaboración propia.



## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

Se analizó anteriormente todas las estabilizaciones realizadas al suelo grava-limosa las cuales fueron positivas, cada una de las estabilizaciones presentó un Proctor y CBR.

El número CBR resultante es un indicador del valor o la capacidad de carga del suelo. Un CBR de 8 % o 10 % indica un material con baja capacidad de carga, mientras que un valor de CBR de 50 % o 70 % indica buena resistencia y es adecuado para pavimentar el suelo según su aplicación, conforme a la línea de especificación del libro azul de caminos.

En resumen, CBR aborda la relación entre la impermeabilidad del suelo y su capacidad de carga como base de carga para pavimentos resilientes.

### **4.1. Análisis de resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio en la estabilización de suelos grava-limosa.**

Con las diferentes mezclas realizadas con cemento, emulsión asfáltica y aditivo químico a las muestras de grava-limosa, se determinó que el cemento es el más resistente, luego le sigue el Terrasil y finalmente la emulsión asfáltica logrando varios valores de estabilización según la mezcla aplicada.

### **4.2. Análisis de Gráficas de resultados de las estabilizaciones obtenidas con las mezclas.**

Usando los valores obtenidos de la investigación realizada, podemos graficar los valores que nos muestran la tendencia de aumentar el porcentaje de valores de CBR, en suelo estable podemos observar su incremento con el porcentaje de aumento de cada material en el suelo hasta que estabiliza.

Las muestras de grava se estabilizan con aditivos químicos, emulsión asfáltica y cemento, de modo que se pueden obtener dos métodos similares de estabilización del suelo y comparar los valores obtenidos con otros tipos de estabilizadores a determinar.

La muestra de grava limosa también se estabilizo con emulsión asfáltica logrando resultados no tan favorables, pero cumple con lo establecido para la creación el diseño de la vía. En los anexos se encuentra con mayores detalles los resultados de los diferentes ensayos.

### **4.3. Ensayo de Granulometría ASto0M D-2487.**

En el resultado del ensayo de la granulometría se determinó el tipo de suelo que es una grava limosa (GM) de las dos muestras extraídas. En el anexo 1 se encuentra los datos completos.

<b>GRAVA</b>	<b>53 %</b>	<b>CLASIFICACIÓN:</b>		<b>HUMEDAD NATURAL:</b>	<b>2,11</b>	<b>%</b>	
		<b>SUCS</b>		<b>GM</b>			
		<b>AASHTO</b>		<b>A-1</b>	<b>A-1-b</b>		
		<b>IG</b>		<b>-7</b>	<b>0</b>		

**Figura 34: Granulometría ABS 0+200.**

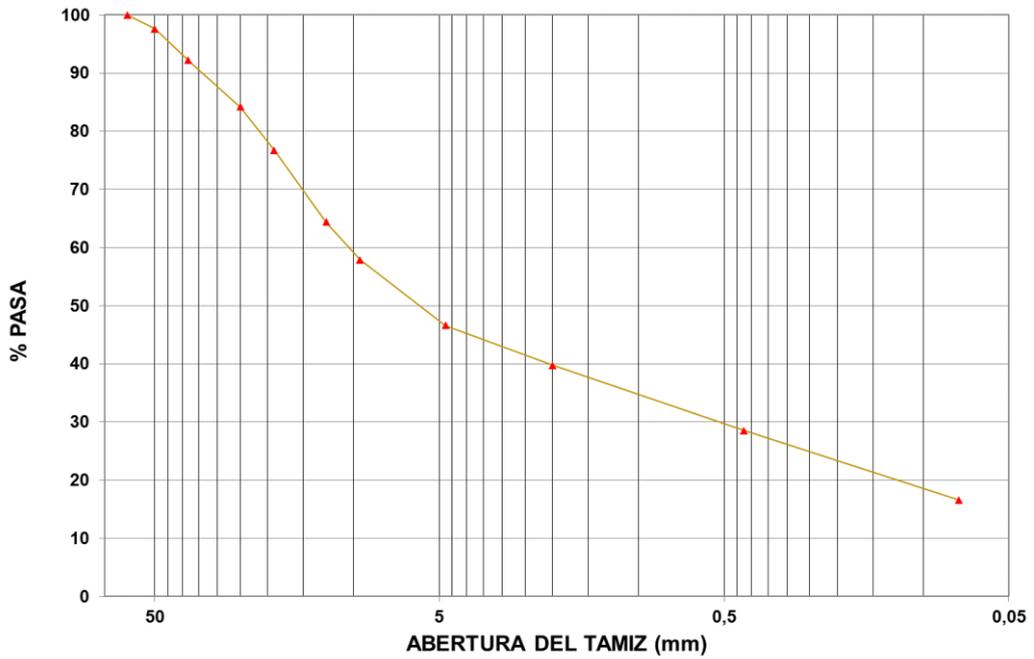
Fuente: Elaboración propia.

<b>GRAVA</b>	<b>53 %</b>	<b>CLASIFICACIÓN:</b>		<b>HUMEDAD NATURAL:</b>	<b>2,11</b>	<b>%</b>	
		<b>SUCS</b>		<b>GM</b>			
		<b>AASHTO</b>		<b>A-1</b>	<b>A-1-b</b>		
		<b>IG</b>		<b>-7</b>	<b>0</b>		

**Figura 35: Granulometría ABS 0+900.**

Fuente: Elaboración propia.

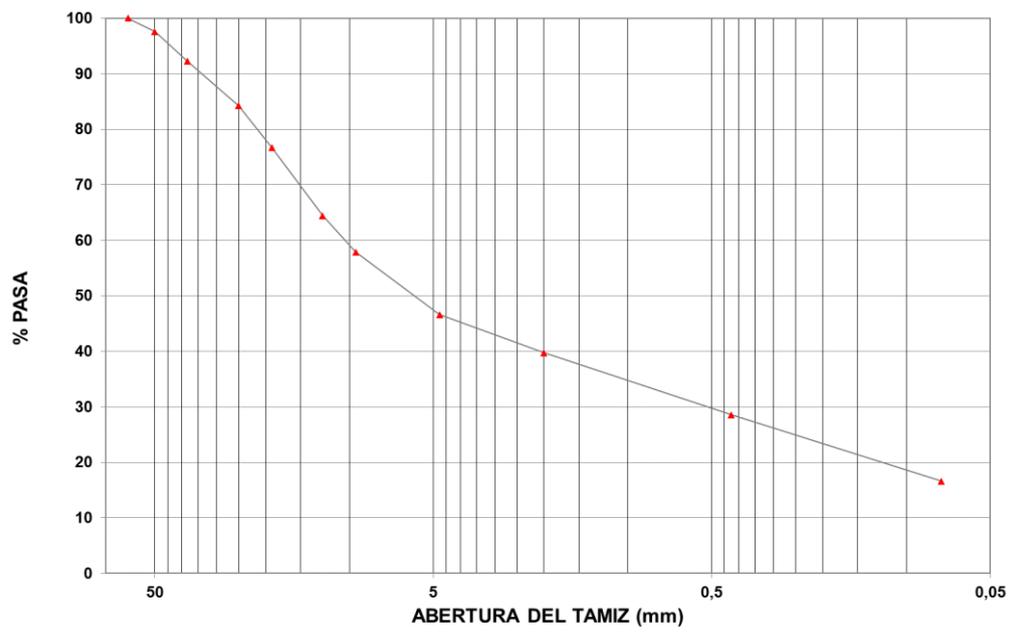
**Distribución de tamaño de partícula**



**Figura 36: Distribución de tamaño de partícula.**

Fuente: Elaboración propia.

Distribución de tamaño de partícula Abs. 0+900.



**Figura 37: Distribución de tamaño de partícula.**

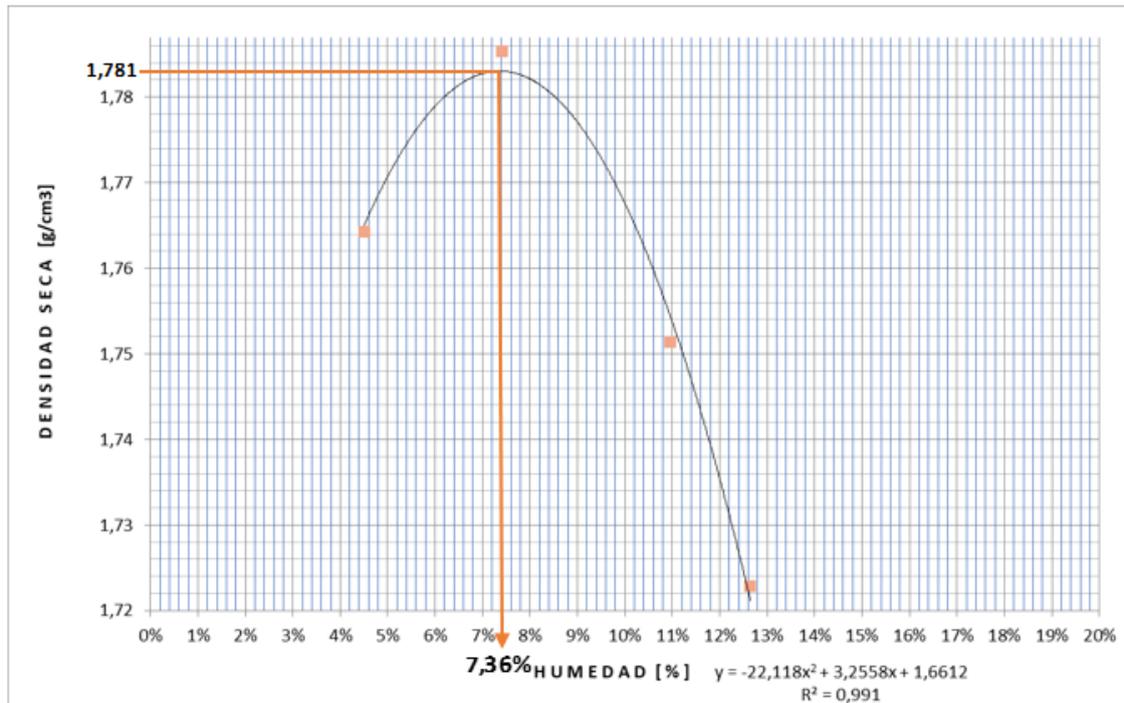
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4. Relación peso unitario- humedad natural ASTM D 1557.

El resultado del Proctor Modificado en estado Natural es:

Densidad Máxima de  $1.781 \text{ g/cm}^3$  y Humedad Óptima de 7.36%.

En el anexo 2 se encuentra los datos completos de la tabla.



Densidad Máxima:	1,781 $\text{g/cm}^3$
------------------	-----------------------

Humedad óptima:	7,36%
-----------------	-------

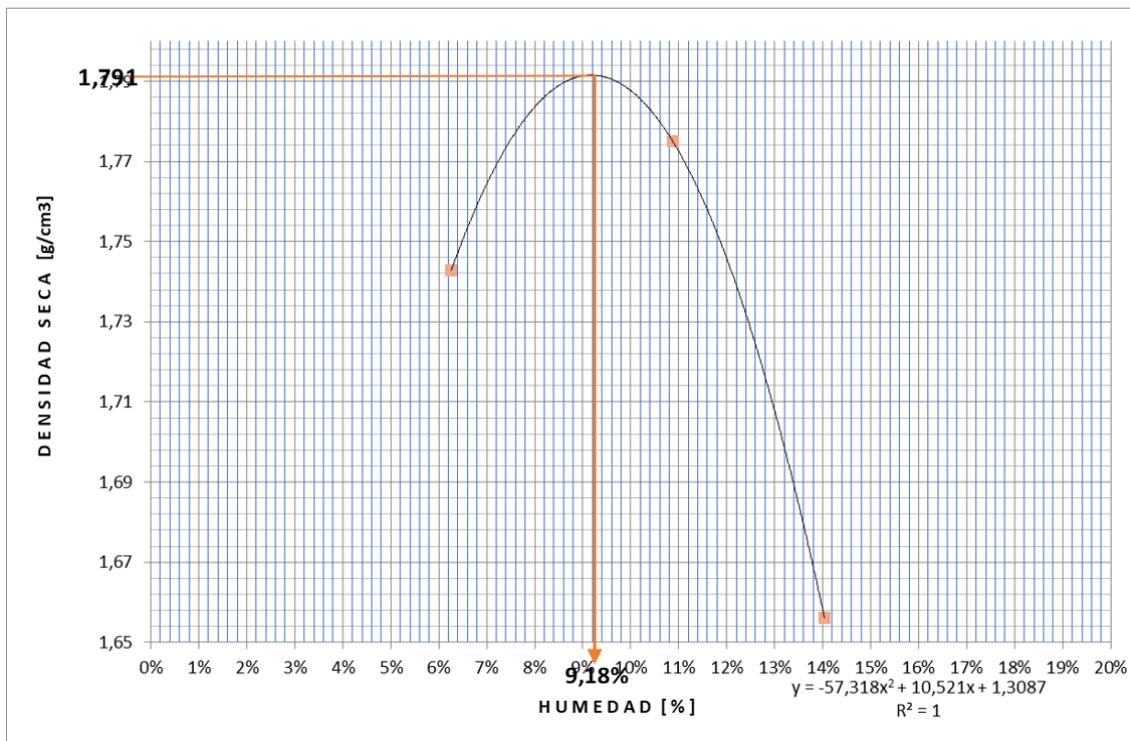
Figura 38: Proctor Modificado

Fuente: Elaboración propia.

El resultado del Proctor Modificado (suelo más emulsión asfáltica 2%) es:

Densidad Máxima de  $1.791 \text{ g/cm}^3$  y Humedad Óptima de 9.18%.

En el anexo 3 se encuentra los datos completos de la tabla.



Densidad Máxima:	1,791	$\text{g/cm}^3$
------------------	-------	-----------------

Humedad óptima:	9,18%
-----------------	-------

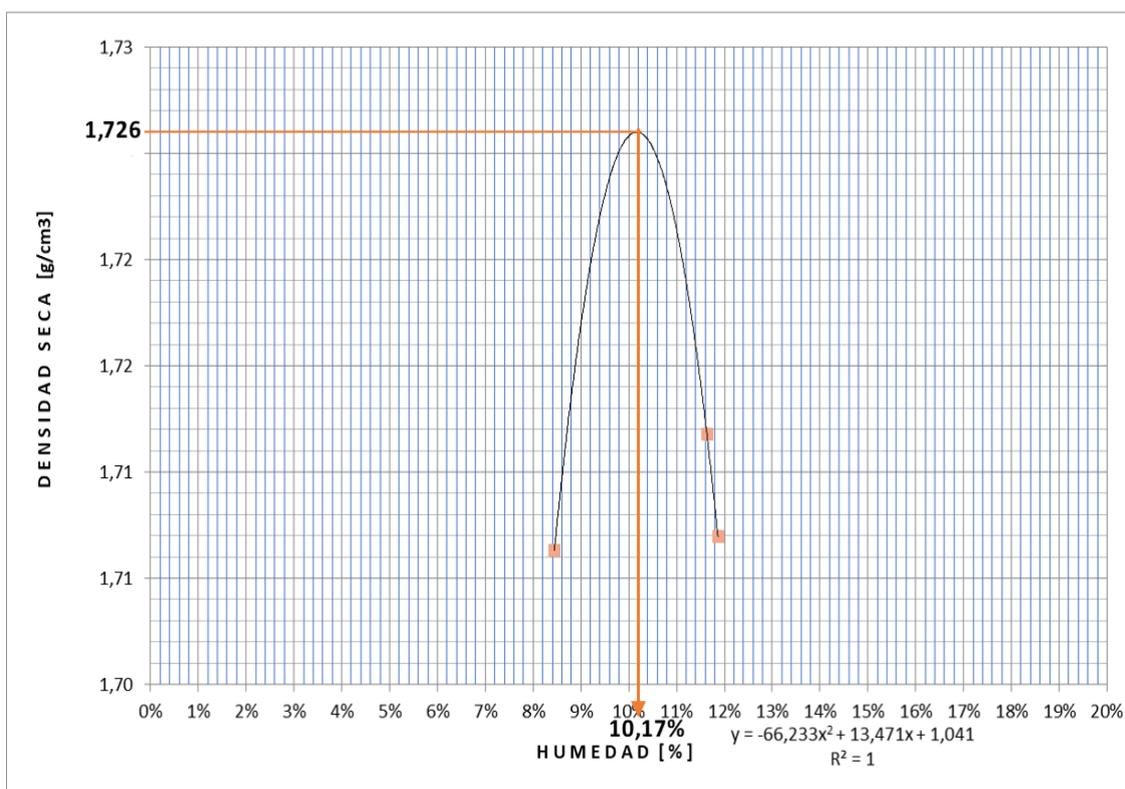
**Figura 39: Proctor Modificado**

**Fuente:** Elaboración propia.

El resultado del Proctor Modificado (suelo más emulsión asfáltica 4%) es:

Densidad Máxima de  $1.726 \text{ g/cm}^3$  y Humedad Óptima de 10.17%.

En el anexo 4 se encuentra los datos completos de la tabla.



Densidad Máxima:	1,726	$\text{g/cm}^3$
------------------	-------	-----------------

Humedad óptima:	10,17%
-----------------	--------

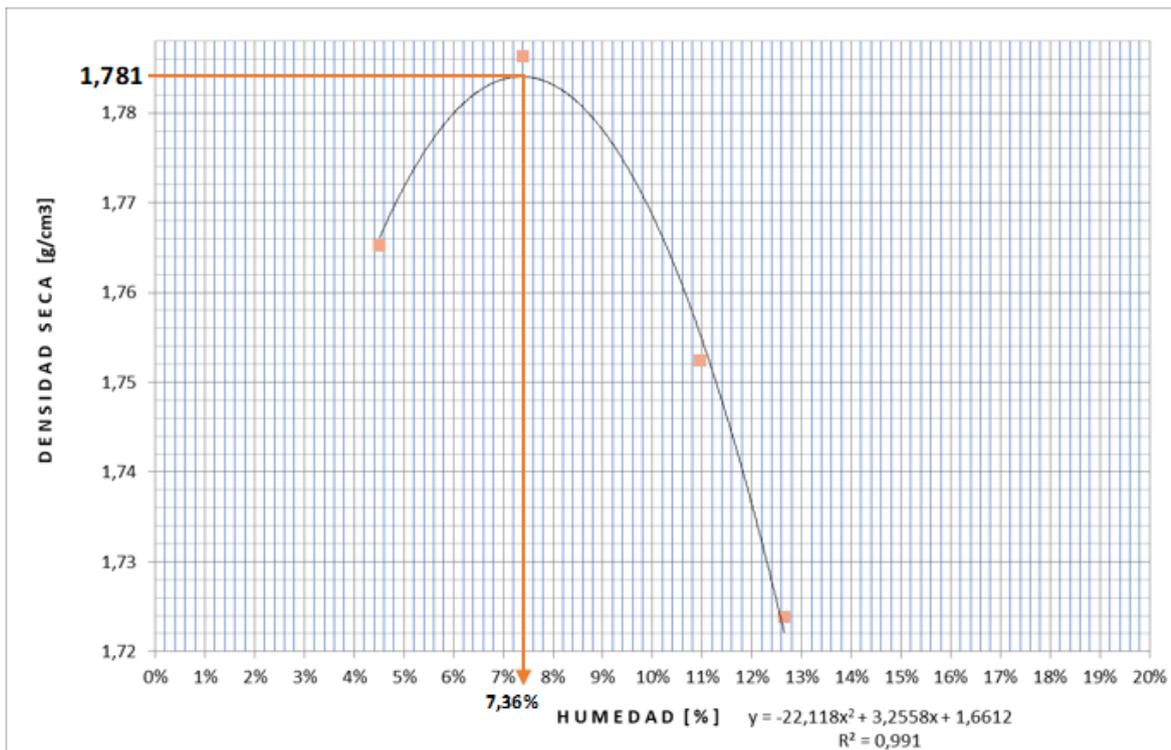
Figura 40: Proctor Modificado.

Fuente: Elaboración propia.

El resultado del Proctor Modificado (suelo más emulsión asfáltica 6%) es:

Densidad Máxima de  $1.781 \text{ g/cm}^3$  y Humedad Óptima de 7.36%.

En el anexo 5 se encuentra los datos completos de la tabla.



Densidad Máxima:	1,781	$\text{g/cm}^3$
------------------	-------	-----------------

Humedad óptima:	7,36%
-----------------	-------

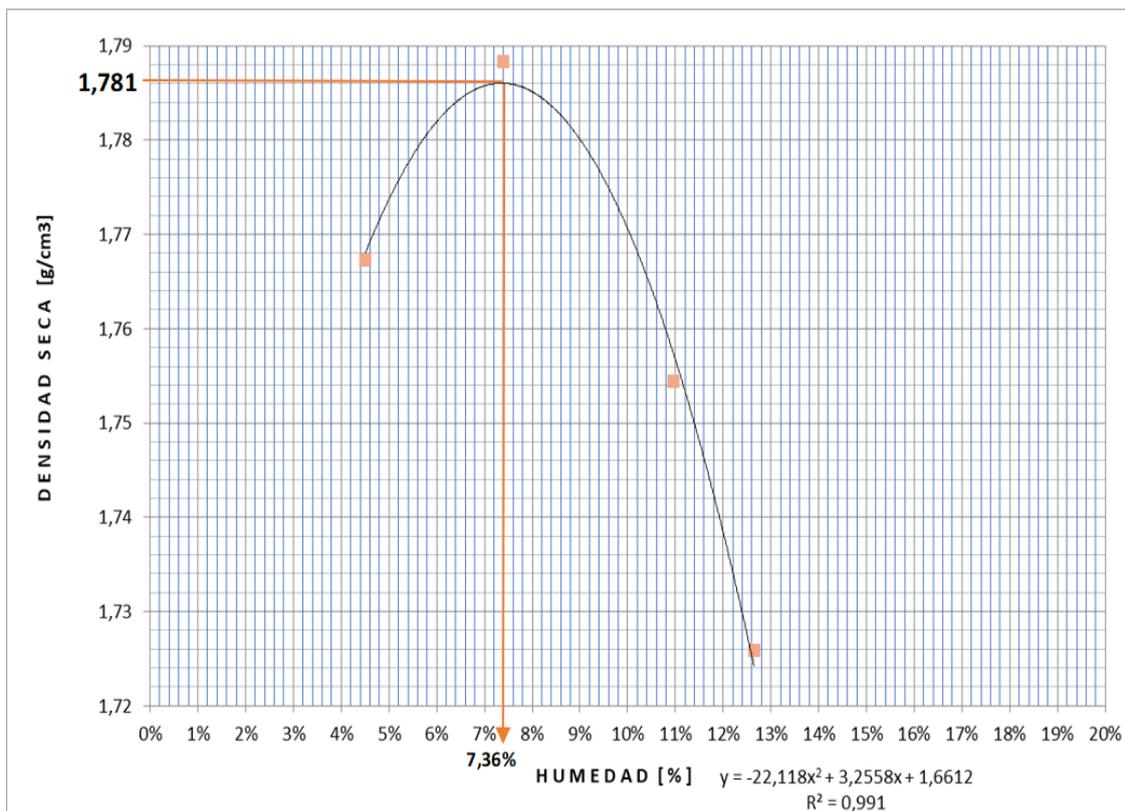
**Figura 41: Proctor Modificado**

**Fuente:** Elaboración propia.

El resultado del Proctor Modificado (suelo más Terrasil 0.5 kg/m<sup>3</sup> – Cemento 0.75%) es:

Densidad Máxima de 1.781 g/cm<sup>3</sup> y Humedad Óptima de 7.36%.

En el anexo 6 se encuentra los datos completos de la tabla.



Densidad Máxima:	1,781	g/cm <sup>3</sup>
------------------	-------	-------------------

Humedad óptima:	7,36%
-----------------	-------

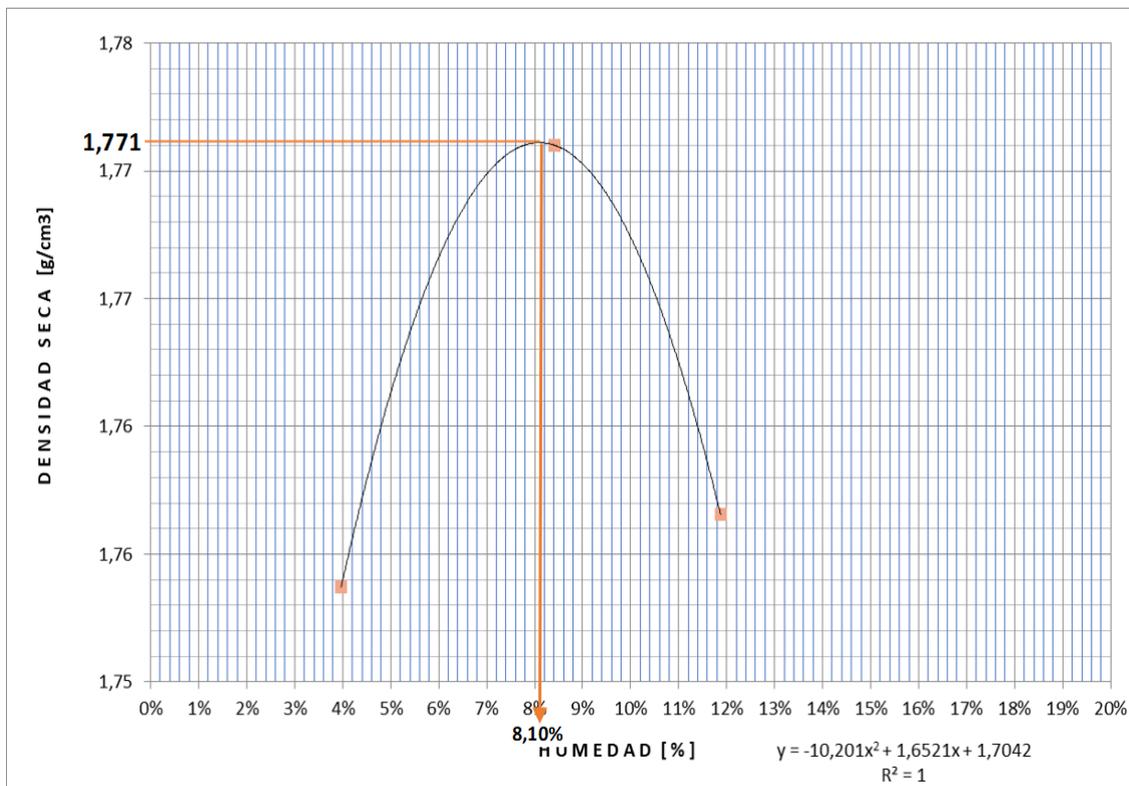
**Figura 42: Proctor Modificado**

**Fuente:** Elaboración propia.

El resultado del Proctor Modificado (suelo más Terrasil 0.5 kg/m<sup>3</sup> – Cemento 1%) es:

Densidad Máxima de 1.771 g/cm<sup>3</sup> y Humedad Óptima de 8.10%.

En el anexo 7 se encuentra los datos completos de la tabla.



Densidad Máxima:	1,771 g/cm <sup>3</sup>
------------------	-------------------------

Humedad óptima:	8,10%
-----------------	-------

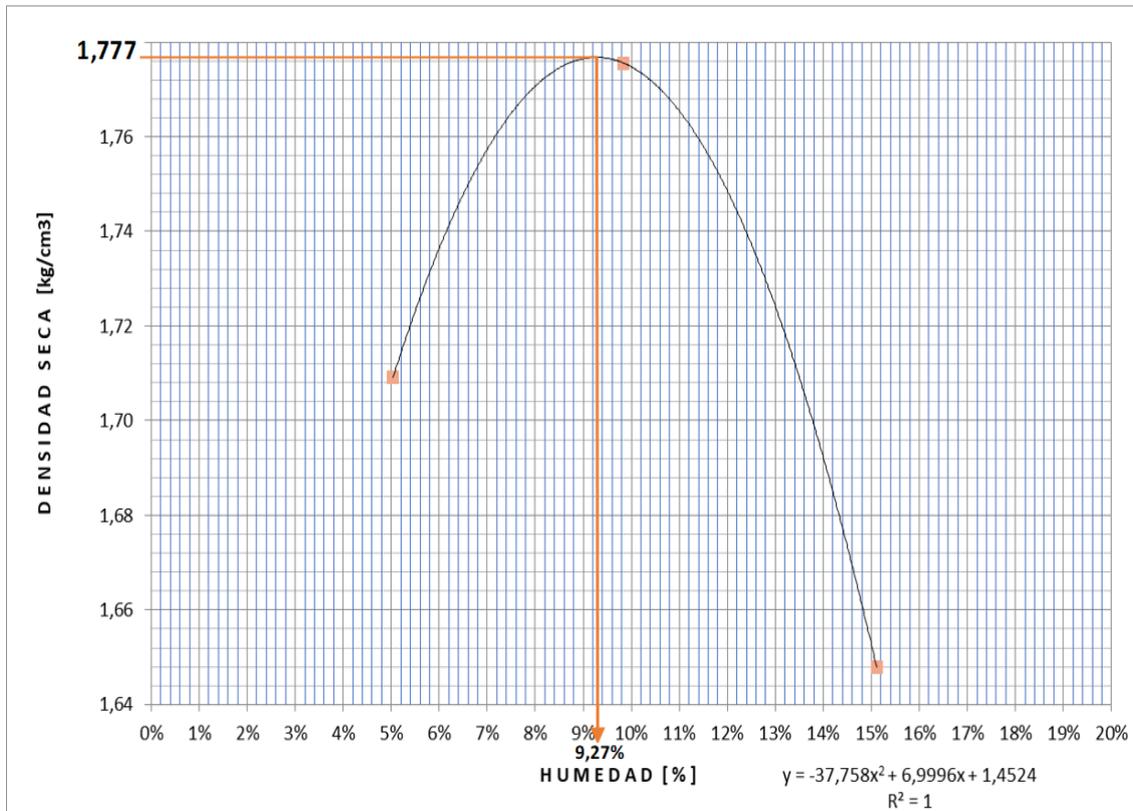
**Figura 43: Proctor Modificado**

Fuente: Elaboración propia.

El resultado del Proctor Modificado (suelo más Terrasil 0.75 kg/m<sup>3</sup> – Cemento 1%) es:

Densidad Máxima de 1.777 g/cm<sup>3</sup> y Humedad Optima de 9.27%.

En el anexo 8 se encuentra los datos completos de la tabla.



Densidad Máxima:	1,777	g/cm <sup>3</sup>
------------------	-------	-------------------

Humedad óptima:	9,27%
-----------------	-------

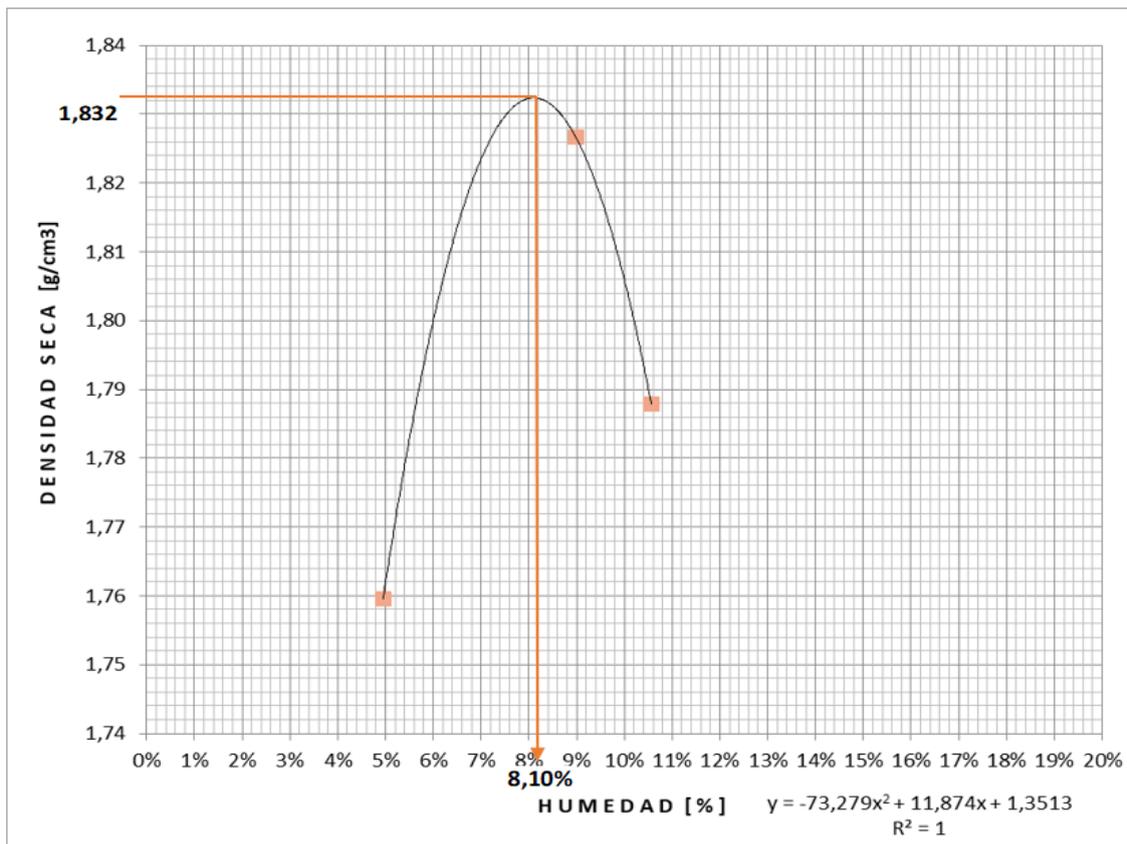
**Figura 44: Proctor Modificado**

Fuente: Elaboración propia.

El resultado del Proctor Modificado (suelo más Cemento 1%) es:

Densidad Máxima de  $1.832 \text{ g/cm}^3$  y Humedad Óptima de 8.10%.

En el anexo 9 se encuentra los datos completos de la tabla.



Densidad Máxima:	1,832 g/cm <sup>3</sup>
------------------	-------------------------

Humedad óptima:	8,10%
-----------------	-------

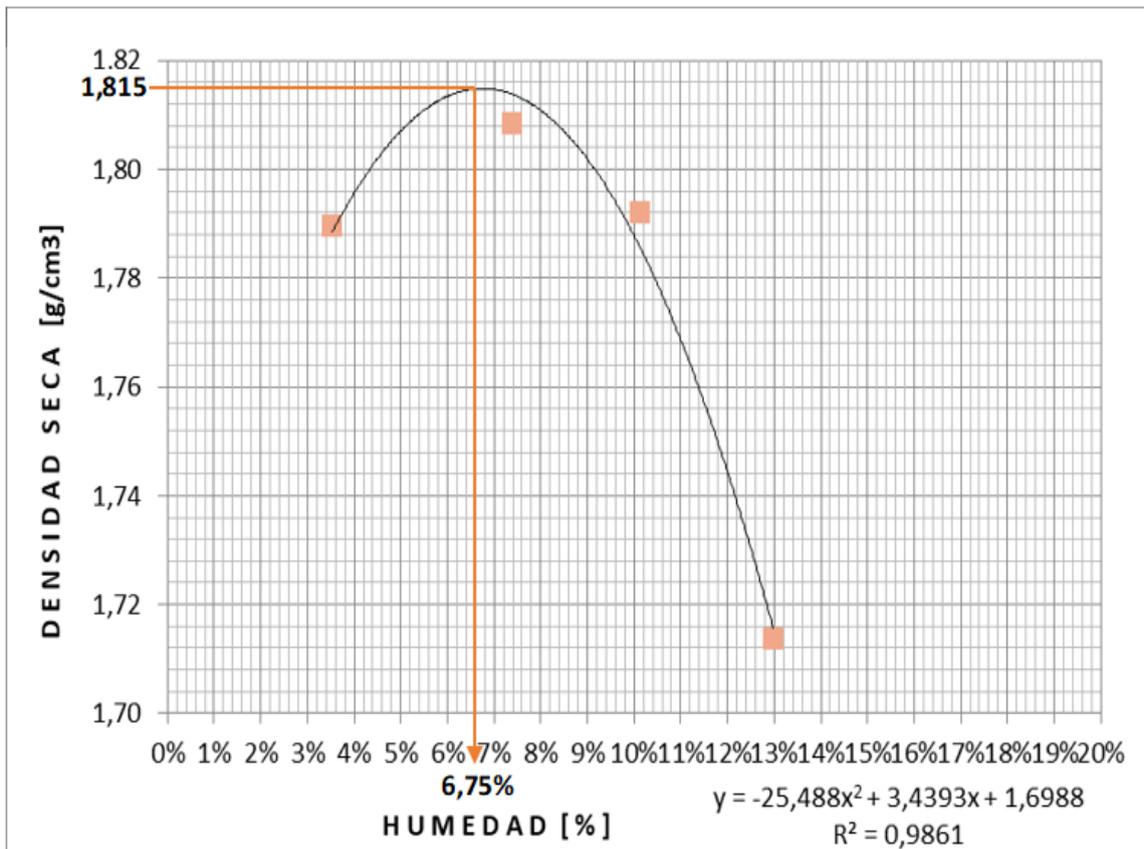
Figura 45: Proctor Modificado.

Fuente: Elaboración propia.

El resultado del Proctor Modificado (suelo más Cemento 3%) es:

Densidad Máxima de  $1.815 \text{ g/cm}^3$  y Humedad Óptima de 6.75%.

En el anexo 10 se encuentra los datos completos de la tabla.



Densidad Máxima:	1,815	$\text{g/cm}^3$
------------------	-------	-----------------

Humedad óptima:	6,75%
-----------------	-------

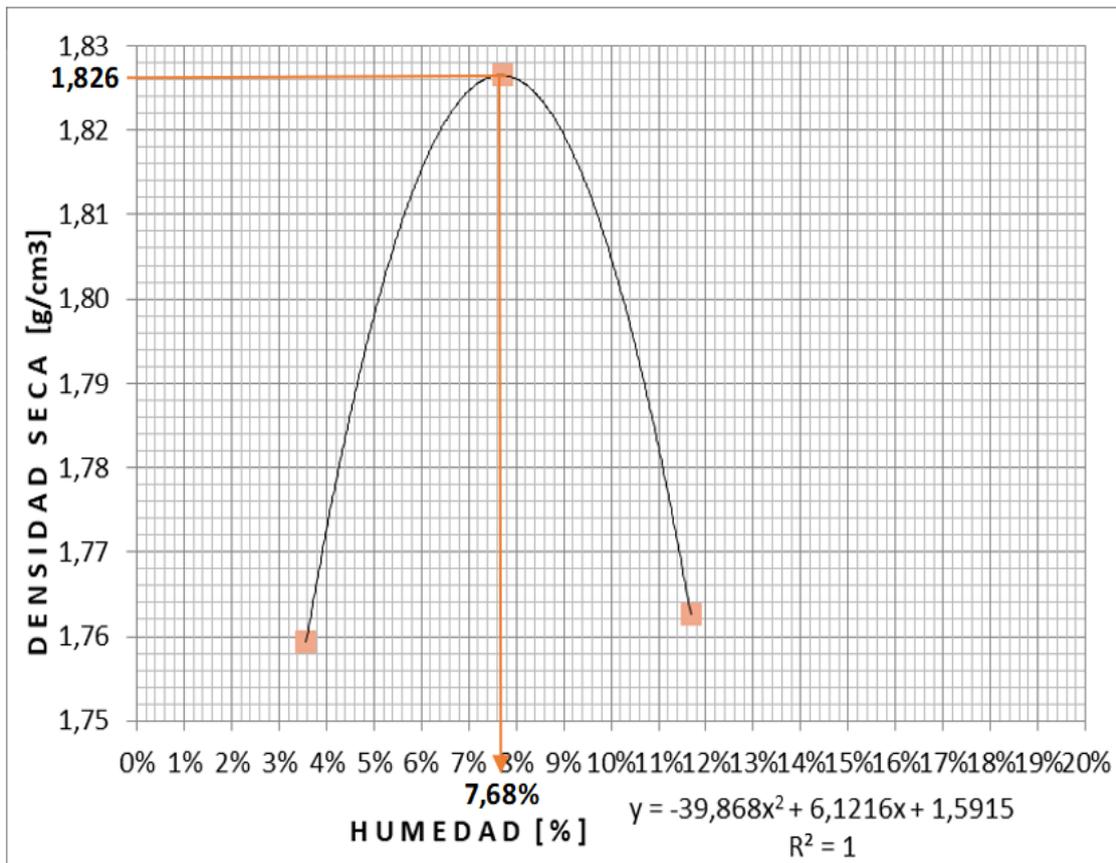
**Figura 46: Proctor Modificado**

Fuente: Elaboración propia.

El resultado del Proctor Modificado (suelo más Cemento 5%) es:

Densidad Máxima de  $1.826 \text{ g/cm}^3$  y Humedad Óptima de 7.68%.

En el anexo 11 se encuentra los datos completos de la tabla.



Densidad Máxima:	1,826 $\text{g/cm}^3$
------------------	-----------------------

Humedad óptima:	7,68%
-----------------	-------

**Figura 47: Proctor Modificado**

**Fuente:** Elaboración propia.

4.5. Ensayo de California Bearing Ratio ASTM D 1883.

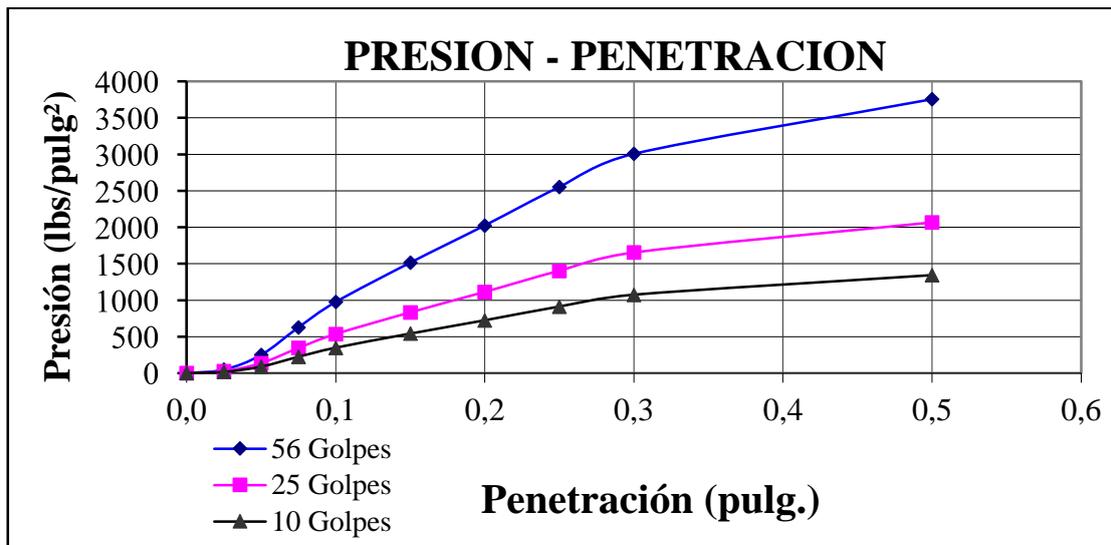


Figura 48: Presión vs Penetración para CBR (Suelo Natural).

Fuente: Elaboración propia

Mediante el ensayo de Proctor Modificado de estado Natural, se realizó el CBR, del cual se obtuvo como resultado; al 95% una Densidad Máxima de 1.692 g/cm<sup>3</sup> y con porcentaje del 33.8% por otro lado el valor del CBR al 100%, se obtuvo la Densidad Máxima de 1.781 g/cm<sup>3</sup> con porcentaje del 74.28%. En el anexo 12 se encuentra los datos completos de la tabla.

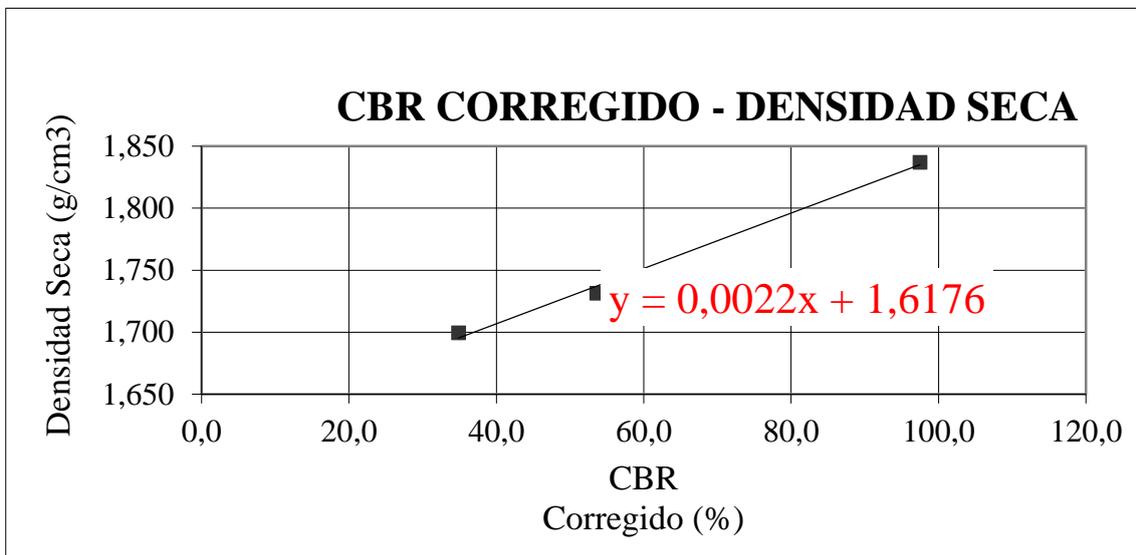


Figura 49: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo Natural).

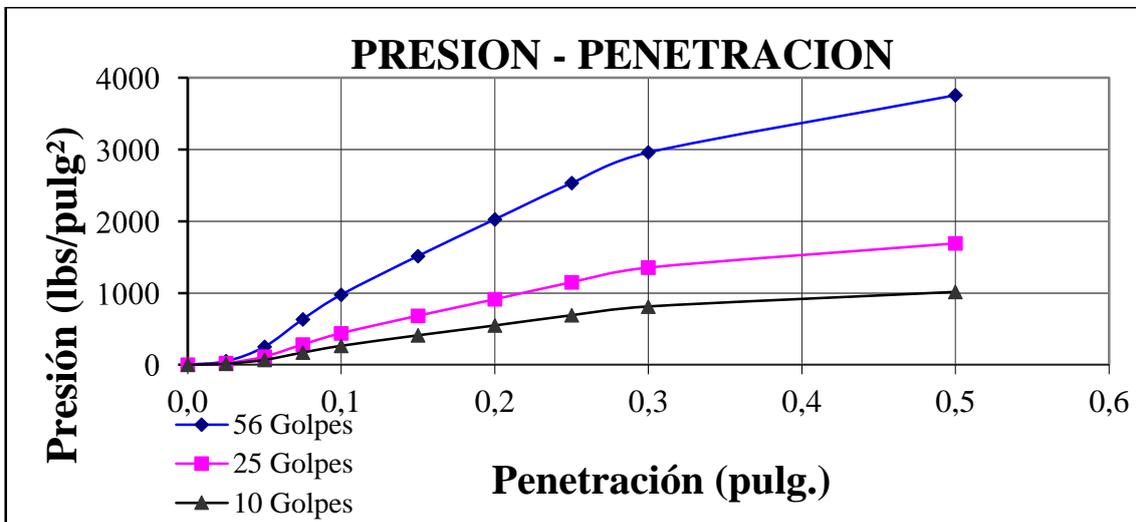
Fuente: Elaboración propia.

VALOR CBR		
MAXIMA DENSIDAD	CBR %	
95	1,692	33,80
100	1,781	74,28

**Figura 50: California Bearing Ratio (CBR) (Natural).**

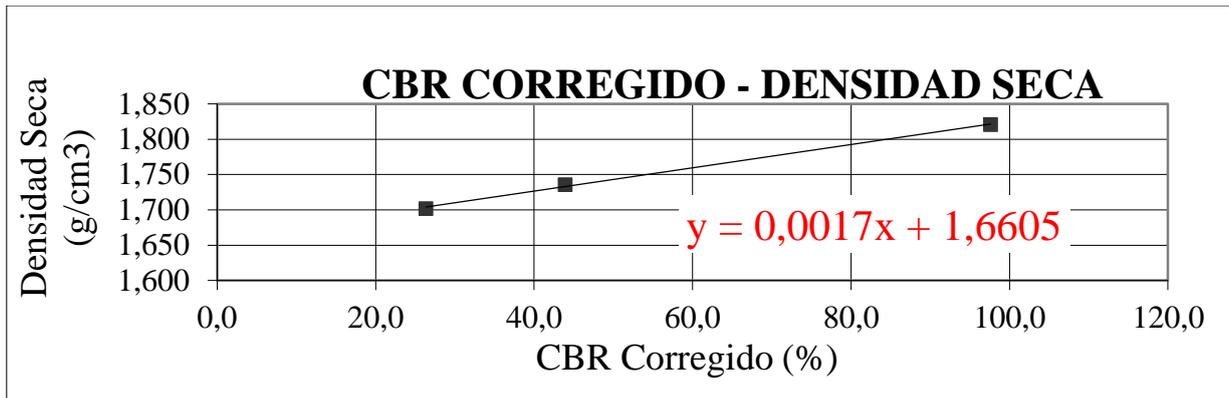
**Fuente:** Elaboración propia.

Mediante el ensayo de Proctor Modificado de suelo con Emulsión Asfáltica al 2%, se realizó el CBR, del cual se obtuvo como resultado; al 95% una Densidad Máxima de 1.702 g/cm<sup>3</sup> y con porcentaje del 24.37% por otro lado el valor del CBR al 100%, se obtuvo la Densidad Máxima de 1.791 g/cm<sup>3</sup> con porcentaje del 77.06%. En el anexo 13 se encuentra los datos completos de la tabla.



**Figura 51: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Emulsión Asfáltica 2%).**

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 52: Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Emulsión Asfáltica 2%).**

Fuente: Elaboración propia.

VALOR CBR		
	MAXIMA DENSIDAD	CBR %
95	1,702	24,37
100	1,791	77,06

**Figura 53: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Emulsión Asfáltica 2%).**

Fuente: Elaboración propia.

Mediante el ensayo de Proctor Modificado de suelo con Emulsión Asfáltica al 4%, se realizó el CBR, del cual se obtuvo como resultado; al 95% una Densidad Máxima de 1.640 g/cm<sup>3</sup> y con porcentaje del 26.31% por otro lado el valor del CBR al 100%, se obtuvo la Densidad Máxima de 1.726 g/cm<sup>3</sup> con porcentaje del 83.84%. En el anexo 14 se encuentra los datos completos de la tabla.

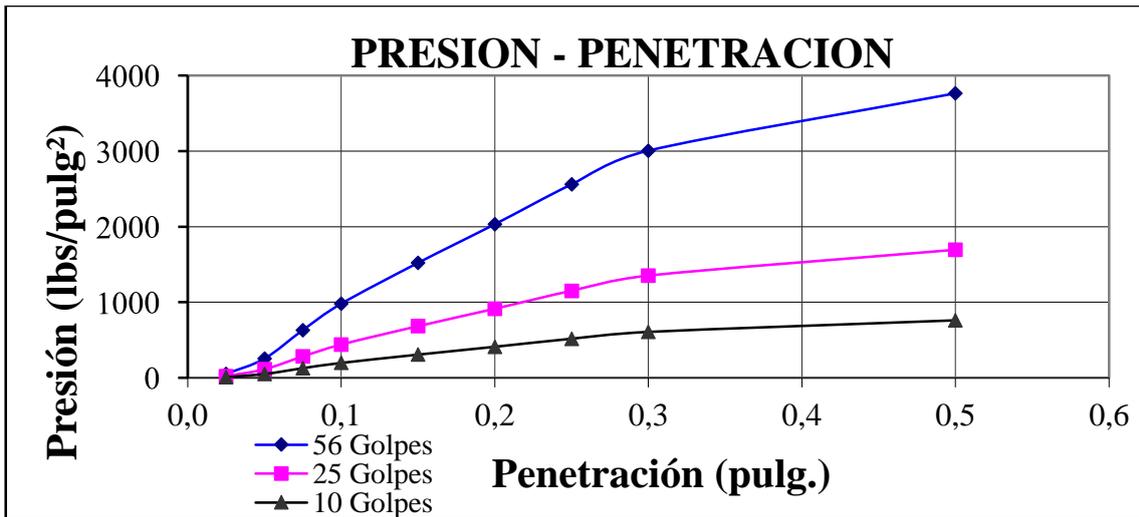


Figura 54: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Emulsión Asfáltica 4%).

Fuente: Elaboración propia.

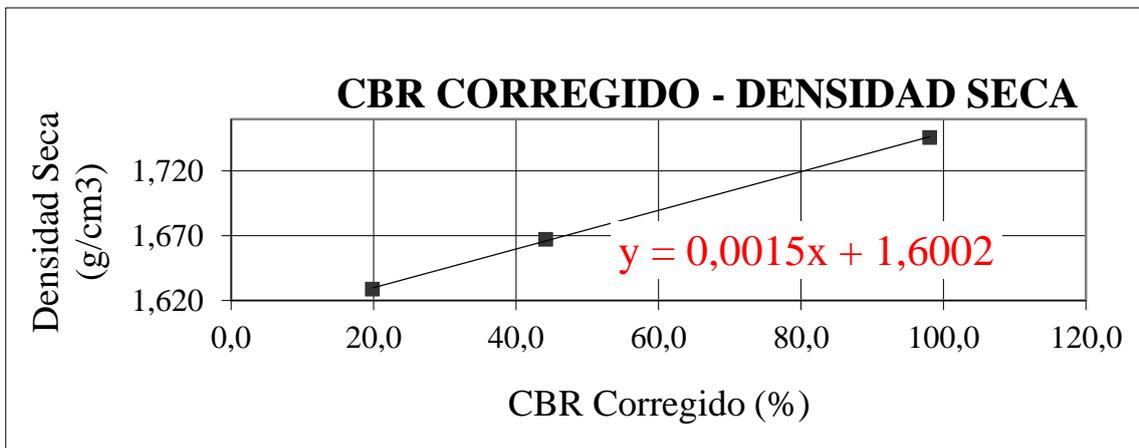


Figura 55: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Emulsión Asfáltica 4%).

Fuente: Elaboración propia.

VALOR CBR		
MAXIMA DENSIDAD		CBR %
95	1,640	26,31
100	1,726	83,84

Figura 56: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Emulsión Asfáltica 4%).

Fuente: Elaboración propia.

Mediante el ensayo de Proctor Modificado de suelo con Emulsión Asfáltica al 6%, se realizó el CBR,

del cual se obtuvo como resultado; al 95% una Densidad Máxima de 1.692 g/cm<sup>3</sup> y con porcentaje del 51.20% por otro lado el valor del CBR al 100%, se obtuvo la Densidad Máxima de 1.781 g/cm<sup>3</sup> con porcentaje del 89.92%. En el anexo 15 se encuentra los datos completos de la tabla.

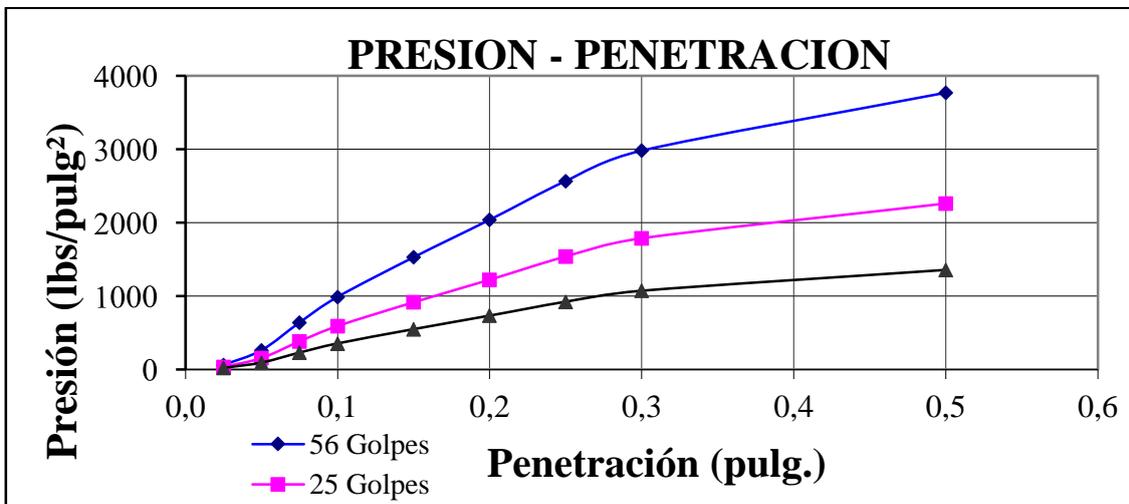


Figura 57: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Emulsión Asfáltica 6%).

Fuente: Elaboración propia.

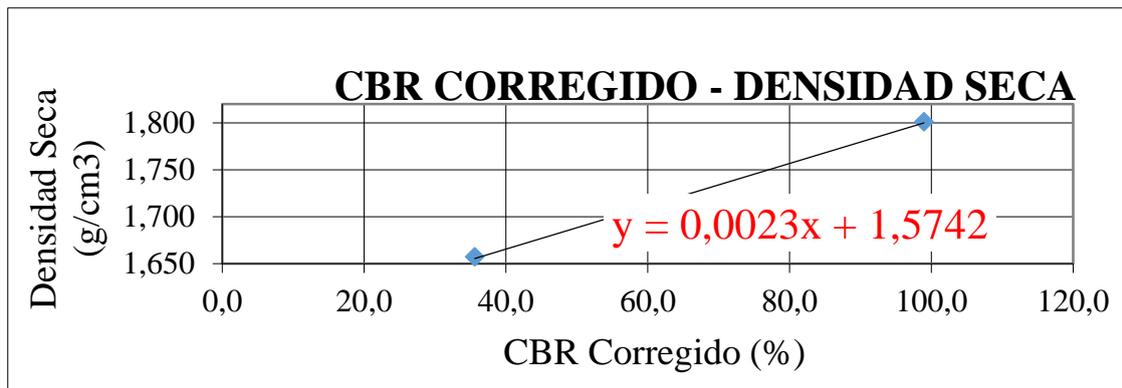


Figura 58: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Emulsión Asfáltica 6%).

Fuente: Elaboración propia.

VALOR CBR		
	MAXIMA DENSIDAD	CBR %
95	1,692	51,20
100	1,781	89,92

Figura 59: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Emulsión Asfáltica 6%).

Fuente: Elaboración propia.

Mediante el ensayo de Proctor Modificado de suelo con Aditivo químico 0.5 kg/m<sup>3</sup> – cemento 0.75%, se realizó el CBR, del cual se obtuvo como resultado; al 95% una Densidad Máxima de 1.692 g/cm<sup>3</sup> y con porcentaje del 71.40% por otro lado el valor del CBR al 100%, se obtuvo la Densidad Máxima de 1.781 g/cm<sup>3</sup> con porcentaje del 170.35%. En el anexo 16 se encuentra los datos completos de la tabla.

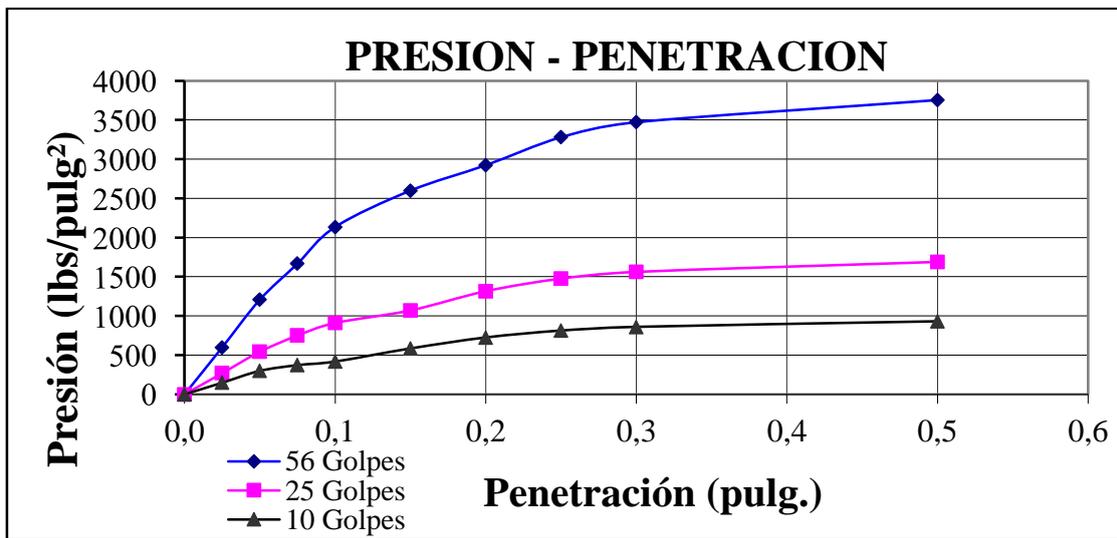


Figura 60: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Aditivo químico 0.5 kg/m<sup>3</sup> – cemento 0.75%).

Fuente: Elaboración propia.

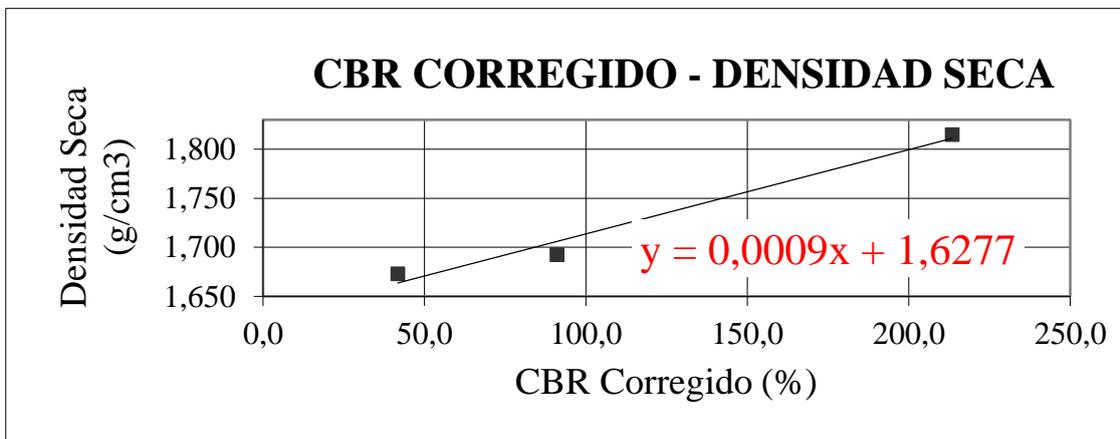


Figura 61: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Aditivo químico 0.5 kg/m<sup>3</sup> – cemento 0.75%).

Fuente: Elaboración propia.

VALOR CBR		
	MAXIMA DENSIDAD	CBR %
95	1,692	71,40
100	1,781	170,35

Figura 62: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Aditivo químico 0.5 kg/m<sup>3</sup> – cemento 0.75%).

Fuente: Elaboración propia.

Mediante el ensayo de Proctor Modificado de suelo con Aditivo químico 0.5 kg/m<sup>3</sup> – cemento 1%, se realizó el CBR, del cual se obtuvo como resultado; al 95% una Densidad Máxima de 1.689 g/cm<sup>3</sup> y con porcentaje del 79.73% por otro lado el valor del CBR al 100%, se obtuvo la Densidad Máxima de 1.771 g/cm<sup>3</sup> con porcentaje del 227.32%. En el anexo 17 se encuentra los datos completos de la tabla.

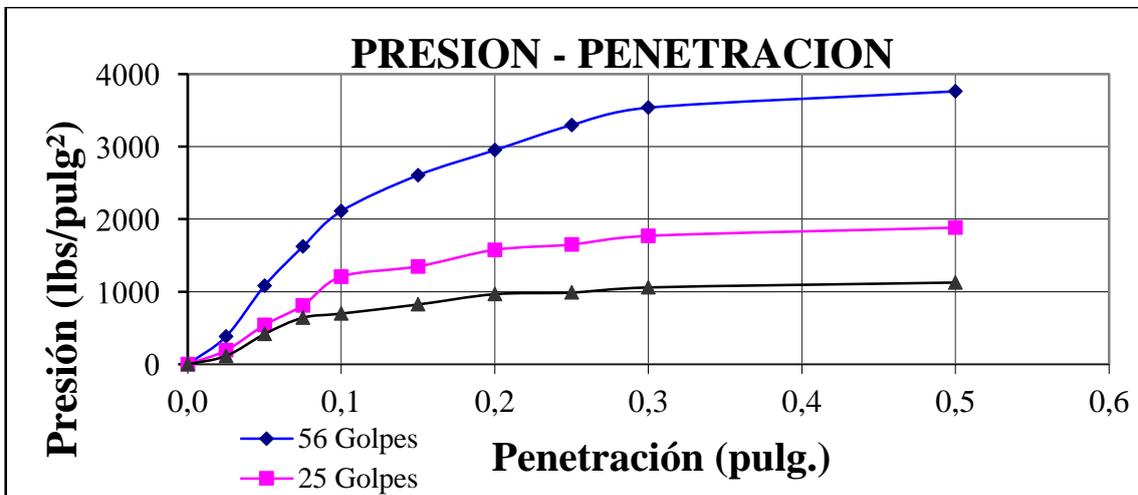
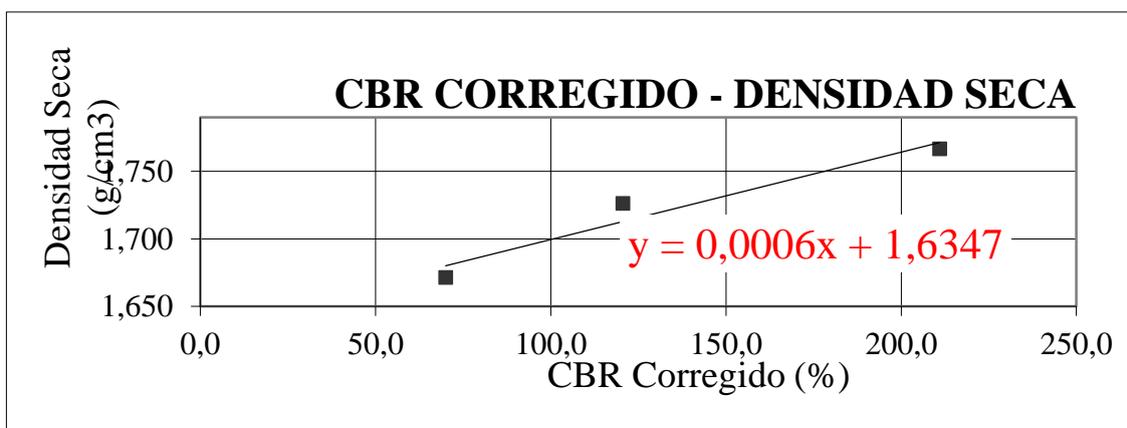


Figura 63: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Aditivo químico 0.5 kg/m<sup>3</sup> – cemento 1%).

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 64: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Aditivo químico 0.5 kg/m<sup>3</sup> – cemento 1%).**

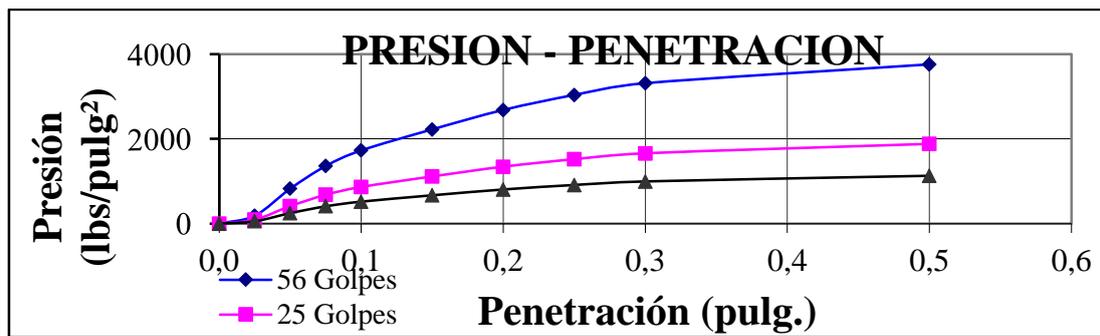
Fuente: Elaboración propia.

VALOR CBR		
	MAXIMA DENSIDAD	CBR %
95	1,683	79,73
100	1,771	227,32

**Figura 65: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Aditivo químico 0.5 kg/m<sup>3</sup> – cemento 1%).**

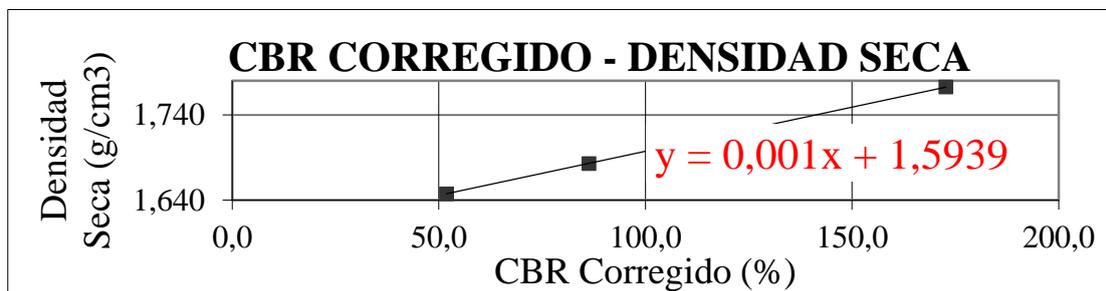
Fuente: Elaboración propia.

Mediante el ensayo de Proctor Modificado de suelo con Aditivo químico 0.75 kg/m<sup>3</sup> – cemento 1%, se realizó el CBR, del cual se obtuvo como resultado; al 95% una Densidad Máxima de 1.688 g/cm<sup>3</sup> y con porcentaje del 94.06% por otro lado el valor del CBR al 100%, se obtuvo la Densidad Máxima de 1.777 g/cm<sup>3</sup> con porcentaje del 182.90%. En el anexo 18 se encuentra los datos completos de la tabla.



**Figura 66: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Aditivo químico 0.75 kg/m<sup>3</sup> – cemento 1%).**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 67: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Aditivo químico 0.75 kg/m<sup>3</sup> – cemento 1%).**

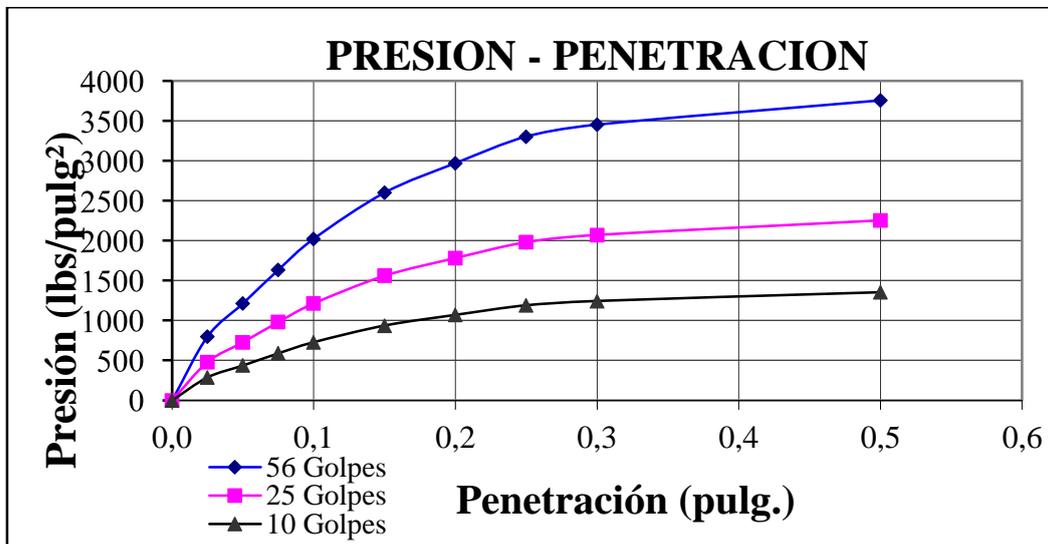
Fuente: Elaboración propia.

VALOR CBR		
	MAXIMA DENSIDAD	CBR %
95	1,688	94,06
100	1,777	182,90

**Figura 68: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Aditivo químico 0.75 kg/m<sup>3</sup> – cemento 1%).**

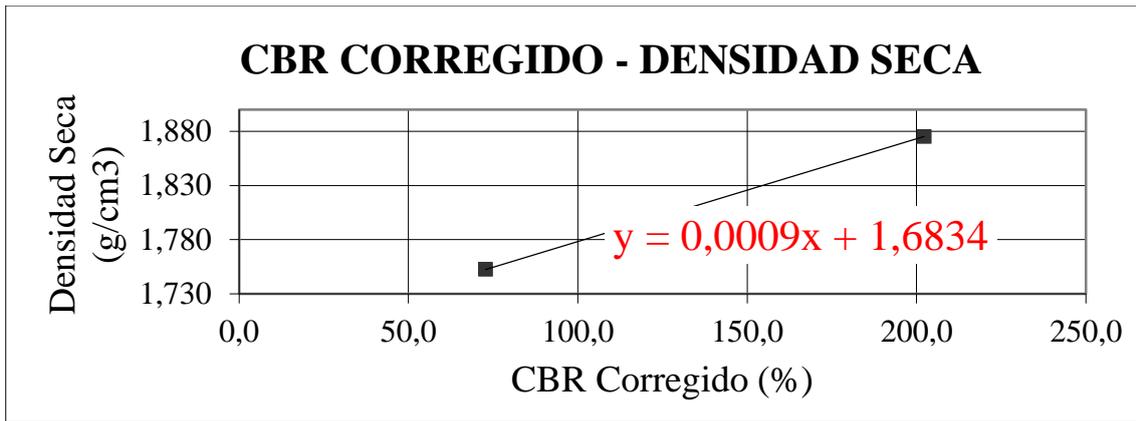
**Fuente:** Elaboración propia.

Mediante el ensayo de Proctor Modificado de suelo con cemento 1%, se realizó el CBR, del cual se obtuvo como resultado; al 95% una Densidad Máxima de 1.741 g/cm<sup>3</sup> y con porcentaje del 63.66% por otro lado el valor del CBR al 100%, se obtuvo la Densidad Máxima de 1.832 g/cm<sup>3</sup> con porcentaje del 165.46%. En el anexo 19 se encuentra los datos completos de la tabla.



**Figura 69: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Cemento 1%).**

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 70: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Cemento 1%).**

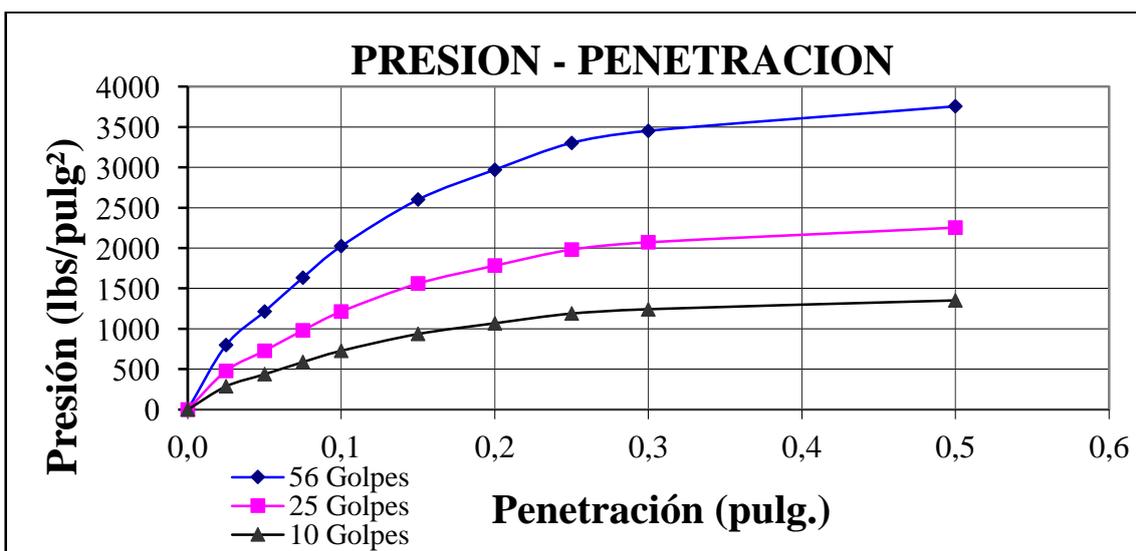
Fuente: Elaboración propia.

VALOR CBR		
MAXIMA DENSIDAD	CBR %	
95	1,741	63,66
100	1,832	165,46

**Figura 71: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Cemento 1%).**

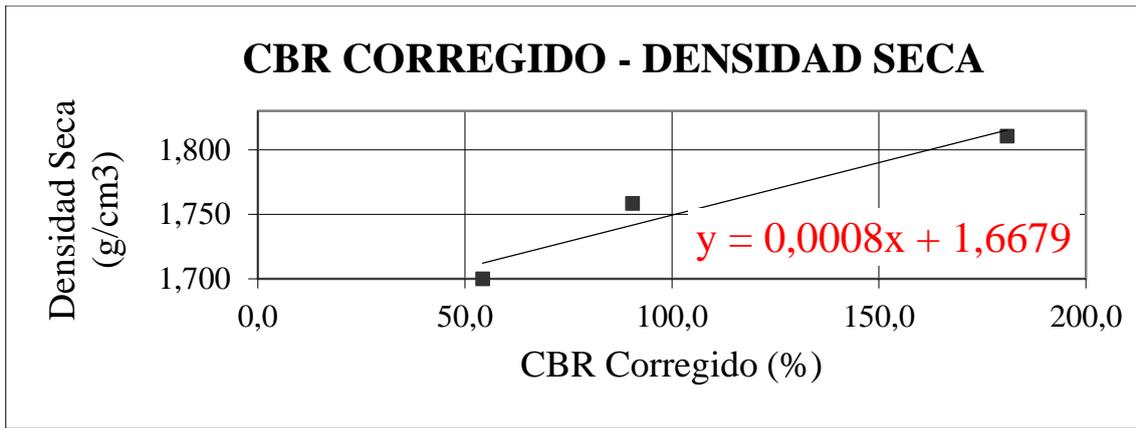
Fuente: Elaboración propia.

Mediante el ensayo de Proctor Modificado de suelo con cemento 3%, se realizó el CBR, del cual se obtuvo como resultado; al 95% una Densidad Máxima de 1.724 g/cm<sup>3</sup> y con porcentaje del 70.23% por otro lado el valor del CBR al 100%, se obtuvo la Densidad Máxima de 1.815 g/cm<sup>3</sup> con porcentaje del 183.65%. En el anexo 20 se encuentra los datos completos de la tabla.



**Figura 72: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Cemento 3%).**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 73: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Cemento 3%).**

**Fuente:** Elaboración propia.

VALOR CBR		
MAXIMA DENSIDAD	CBR %	
95	1,724	70,23
100	1,815	183,65

**Figura 74: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Cemento 3%).**

**Fuente:** Elaboración propia.

Mediante el ensayo de Proctor Modificado de suelo con cemento 5%, se realizó el CBR, del cual se obtuvo como resultado; al 95% una Densidad Máxima de 1.735 g/cm<sup>3</sup> y con porcentaje del 147.69% por otro lado el valor del CBR al 100%, se obtuvo la Densidad Máxima de 1.826 g/cm<sup>3</sup> con porcentaje del 230.72%. En el anexo 21 se encuentra los datos completos de la tabla.

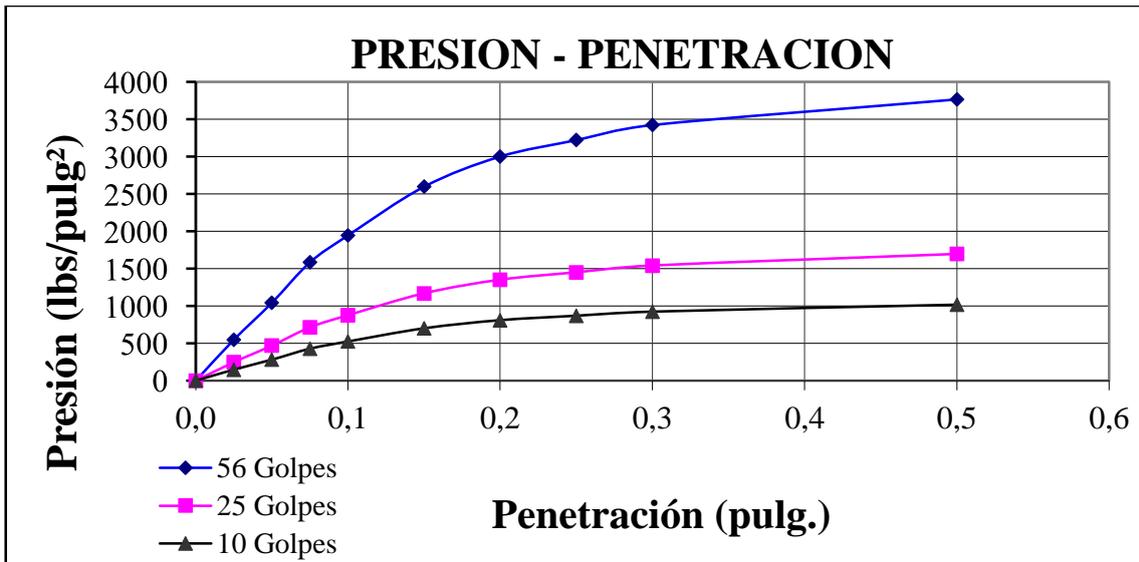


Figura 75: Presión vs Penetración para CBR (Suelo más Cemento 5%).

Fuente: Elaboración propia.

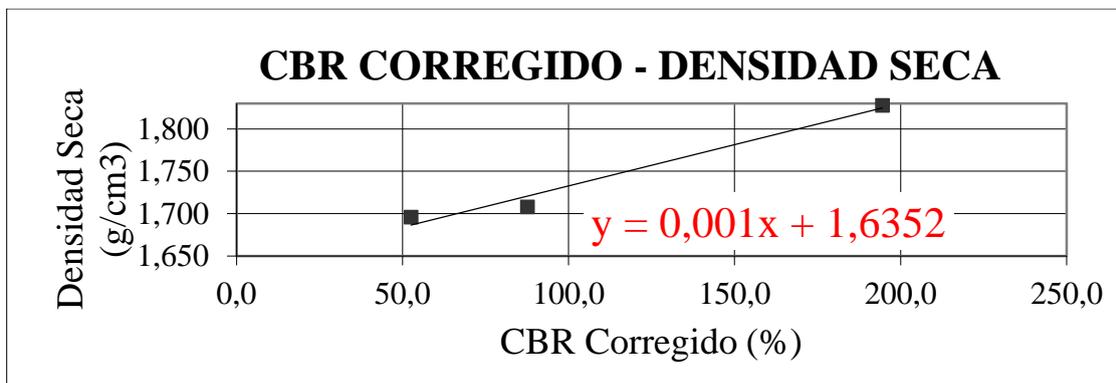


Figura 76: CBR Corregido vs Densidad Seca (Suelo más Cemento 5%).

Fuente: Elaboración propia.

VALOR CBR		
	MAXIMA DENSIDAD	CBR %
95	1,735	147,69
100	1,826	230,72

Figura 77: California Bearing Ratio (CBR) (Suelo más Cemento 5%).

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6. Relación entre los diferentes materiales y sus CBR al 95% y 100%.

Al realizar los ensayos de Proctor Modificado y CBR, con diferentes tipos de materiales se ha determinado varios comportamientos de estabilizaciones, a continuación, se realizará la comparativa de los resultados obtenidos:

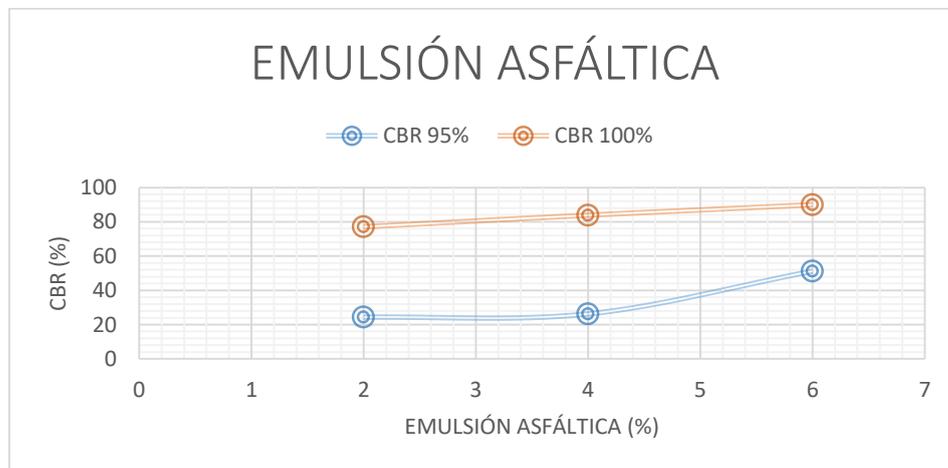
Suelo Natural: este resultado se ha obtenido de la ejecución de los ensayos realizados con el material encontrado in situ, sin intervención de ningún otro elemento.

NATURAL	
CBR 95%	CBR 100%
33,8	74,28

**Figura 78: CBR (Suelo Natural).**

**Fuente:** Elaboración propia.

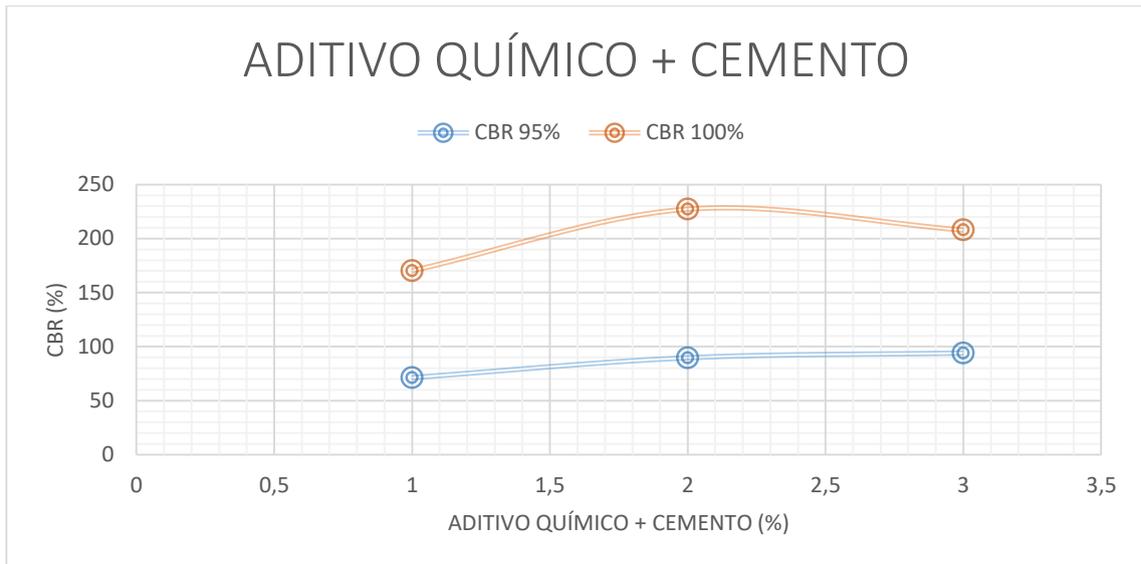
Emulsión Asfáltica: partiendo de los objetivos del presente estudio, en diferentes porcentajes de aditivo, se presenta los siguientes resultados:



**Figura 79: CBR (Emulsión Asfáltica).**

**Fuente:** Elaboración propia.

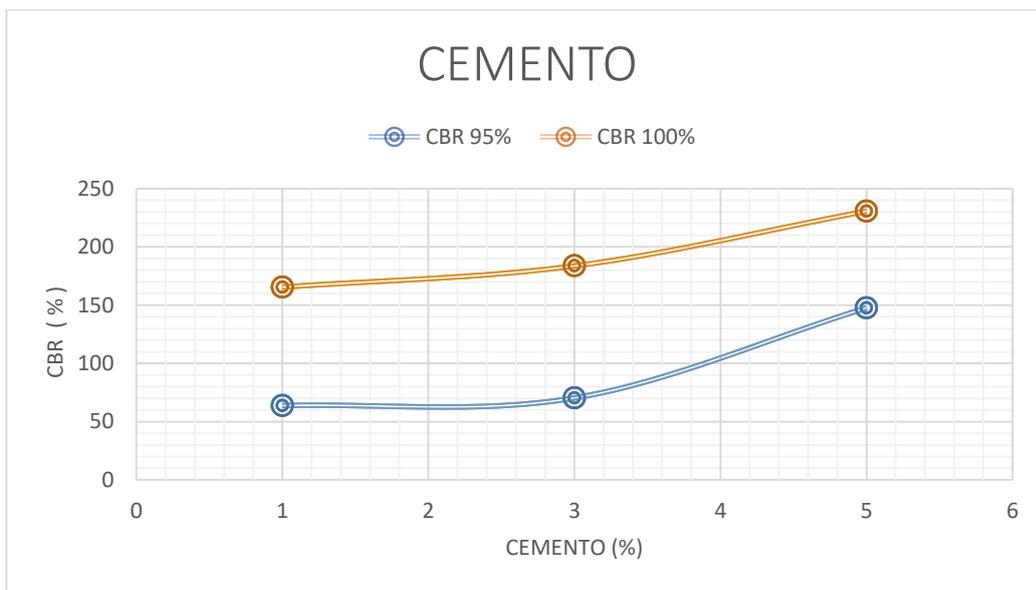
Aditivo Químico: realizando énfasis que el aditivo químico, utilizado en el presente estudio, está fabricado en base a los órganos silanos; se presenta los siguientes resultados:



**Figura 80: CBR (Aditivo Químico + Cemento).**

**Fuente:** Elaboración propia.

Cemento: con concordando que este material es el más común a nivel comercial en nuestro país se presenta los siguientes resultados:

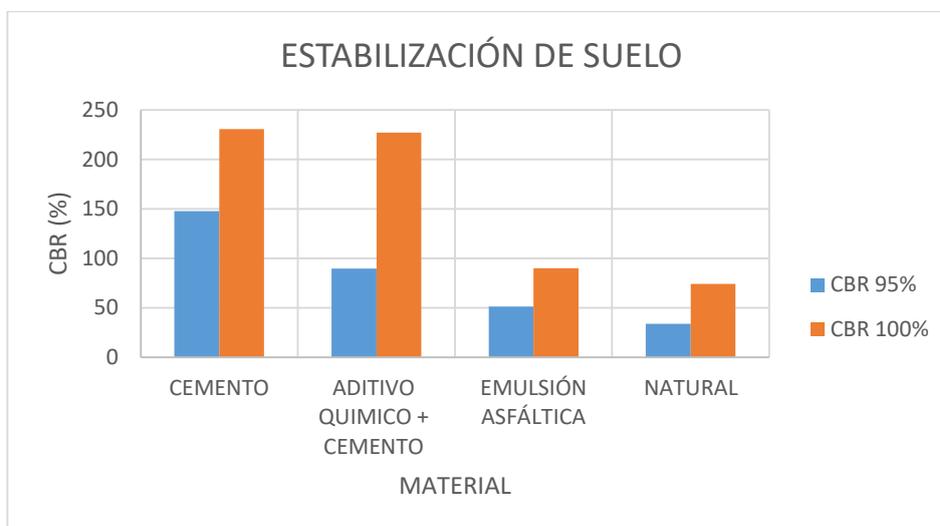


**Figura 81: CBR (Cemento).**

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.7. Estabilización de suelo

Se procede a analizar los resultados escritos en párrafos anteriores:



**Figura 82: Estabilización de suelos (Cemento).**

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.8. Análisis económico.

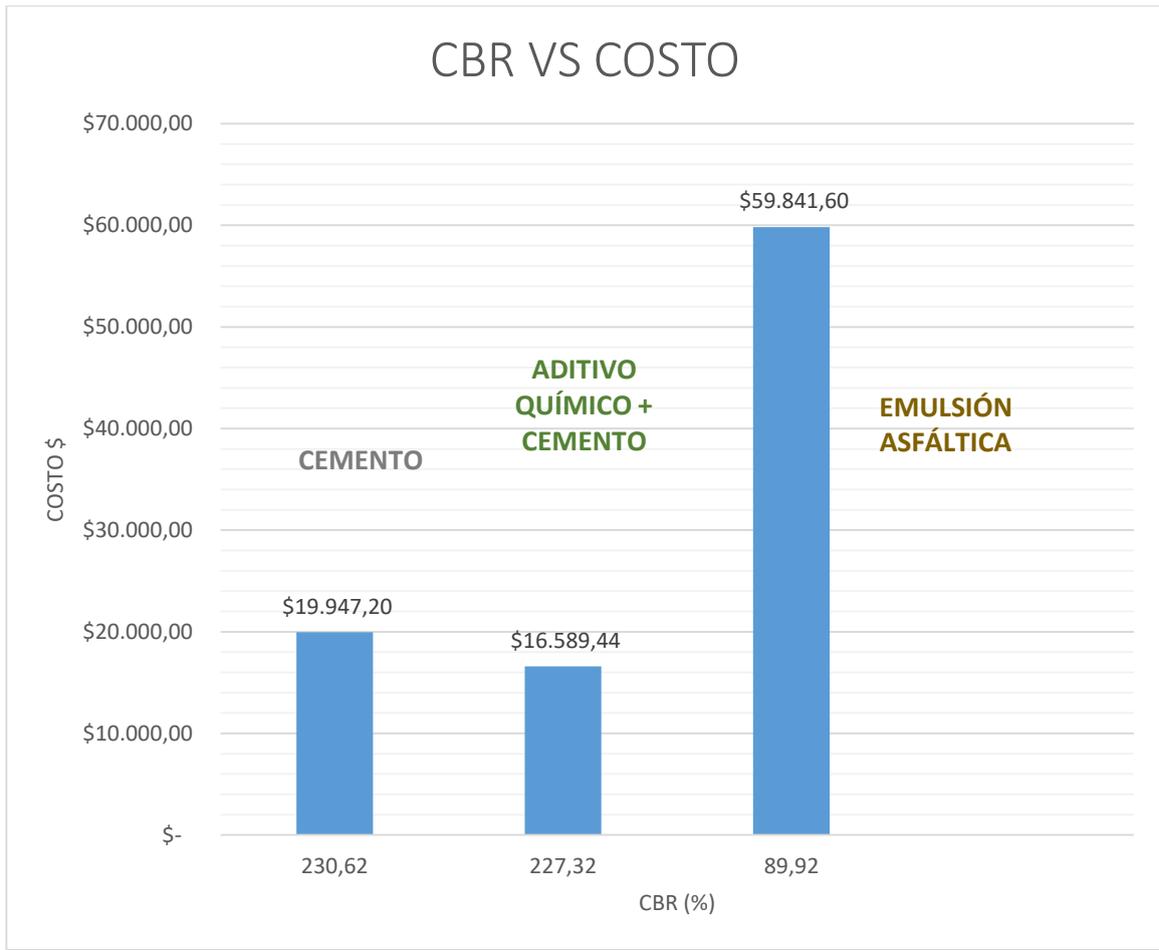
Tras obtener los resultados técnicos (CBR), es necesario determinar la diferencia de los costos al aplicar cada una de las estabilizaciones ya descritas, por tal motivo el análisis de precio unitario se realiza en virtud de los siguientes datos:

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO (m)	
LONGITUD (m) :	1000,00
ANCHO (m) :	7,00
ESPESOR (m):	0,20
DENSIDAD MÁX (kg/m3):	1781,00
AREA (m2)	7000
VOLUMEN (m3):	1400
COSTO	
CEMENTO (50 Kg):	\$ 8,00
CEMENTO (kg):	\$ 0,16
ADITIVO QUÍMICO (Kg):	\$ 18,00
EMULSION ASFÁLTICA (Kg):	\$ 0,40

CBR VS COSTO		
MATERIAL	CBR (100%)	COSTO
CEMENTO	230,62	\$ 19.947,20
ADITIVO QUIMICO + CEMENTO	227,32	\$ 16.589,44
EMULSIÓN ASFÁLTICA	89,92	\$ 59.841,60

**Figura 83: Precio unitario y Costo**

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 84: CBR vs Costo.**

**Fuente:** Elaboración propia.

## Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Conclusiones.

- De los resultados obtenidos, se concluyen que el cemento al 5% alcanza una estabilización de 230.62 % con respecto a los demás.
- De los resultados obtenidos, se concluyen que el aditivo químico más cemento alcanza una estabilidad de 227.32 %, sin embargo, es más económica que las otras propuestas, alcanzando una diferencia de \$3.357,76 con respecto al cemento; y con diferencia de \$43.252,16 con respecto a la emulsión asfáltica.
- La emulsión asfáltica no es recomendable para estabilizar el tipo de material grava limoso, debido a que no reacciona adecuadamente con el suelo, y por tal motivo no existe mayor variación con respecto al valor del suelo en estado natural, dando una diferencia de CBR de 15.64%.
- La estabilización con aditivo químico en base a órgano silanos es bastante favorable, debido que cumple con los valores requeridos en la estabilización y también impermeabiliza totalmente al suelo, disminuyendo así la permeabilidad del suelo; lo que conlleva a que esta metodología ayude a incrementar la vida útil de la estructura de un pavimento.
- Para elevar el porcentaje de CBR, una excelente opción es el cemento, ya que para los materiales del presente estudio grava limosa (GM), el cemento reacciona perfectamente por su composición limosa, produciendo un incremento de más del 200% en el CBR.
- Las mejores opciones para poder estabilizar, fueron con cemento al 5%, y la estabilización mixta aditivo químico al 0.5Kg/m<sup>3</sup> + 1% de cemento por su capacidad portante, debido a que se tuvo 230.62% y 227.32% respectivamente, siendo valores bastante satisfactorios; puesto que este es un parámetro que permitirá disminuir espesores al momento de diseñar pavimentos.
- Las características de los materiales usados en la presente investigación, presentan cualidades positivas para la estabilización de suelo. El aditivo químico mezclado con cemento tiene mayor resistencia para el tipo de suelo grava limosa demostrando ser eficaz que los otros estabilizadores utilizados.
- En la investigación se utilizaron dos tipos de muestras de suelos los cuales se extrajeron del Shuyo en el cantón Riobamba, las dos muestras poseen las mismas características entre sí, por tal motivo, se sugiere utilizar el presente estudio para la estabilización de suelos; siempre y cuando el material en sitio cuente con las mismas características.

## 5.2. Recomendaciones.

- Al coger muestras en el campo, siempre se deben tener en cuenta los métodos que contiene la norma, como el contenido de humedad natural del suelo, son importantes al realizar las estabilizaciones.
- Tomar los valores de CBR al 100% para obtener los valores máximos que se puede llegar con cada material estabilizador, sin embargo, para realizar diseños se debe tomar los valores de CBR al 95% para tener un margen de seguridad al momento de diseñar la estructura de un pavimento.
- Los resultados y las muestras presentadas en este estudio se obtuvieron en condiciones de laboratorio controladas y los resultados obtenidos en condiciones reales de trabajo durante el desempeño en campo deben ser validados o verificados.
- Durante el proceso de edificación de la obra, se deberán realizar por cada entrega de material, o cada sector intervenido, ensayos y muestreo de los materiales utilizados para ratificar que se cumplan las especificaciones de calidad.
- Se sugiere que, al utilizar un suelo grava-limoso; se puede aplicar para la estabilización el aditivo químico Terrasil; debido a que su estabilidad es de 227.32% y su valor comercial es más bajo; por tal motivo es viable cumpliendo los criterios económicos y sobre todo técnicos.

## Capítulo VI: Anexos.

### 6.1. Ensayo de Granulometría ASTM D-2487.

#### Anexo 1: Datos de granulometría.

<b>GRANULOMETRÍA (ASTM D422-63) Abs. 0+200.</b>				
<b>TAMIZ</b>	<b>PESO RETENID</b>	<b>PESO RETENID</b>	<b>% RETENID</b>	<b>% QUE PASA</b>
3"	-	-	-	100,0
2 ½"	-	-	-	100,0
2"	257	257	2,4	97,6
1½"	593	850	7,8	92,2
1"	876	1.726	15,8	84,2
¾"	820	2.546	23,3	76,7
½"	1.335	3.881	35,6	64,4
⅜"	716	4.597	42,1	57,9
N°4	1.223	5.820	53,4	(46,6)
< N°4	-	5.088	(46,6)	
N°10	74,00	74,00	6,90	39,74
N°40	120,00	194,00	18,10	28,55
N°200	128,00	322,00	30,04	16,61
< N°200		178,00	16,61	

<b>PESO TOTAL</b>	<b>10908 gr</b>	<b>CUARTEO(PESO)</b>	
		ANTES	500 g
		DESPUÉS	322,00 g

**Fuente:** Elaboración Propia.

GRANULOMETRÍA (ASTM D422-63) Abs. 0+900.				
TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% QUE PASA
3"	-	-	-	100,0
2 ½"	-	-	-	100,0
2"	254	254	2,3	97,7
1½"	591	845	7,7	92,3
1"	879	1.724	15,8	84,2
¾"	815	2.539	23,3	76,7
½"	1.325	3.864	35,4	64,6
3/8"	726	4.590	42,1	57,9
N°4	1.233	5.823	53,4	(46,6)
< N°4	-	5.085	(46,6)	
N°10	86,00	86,00	8,02	38,60
N°40	115,00	201,00	18,74	27,88
N°200	132,00	333,00	31,05	15,57
< N°200		167,00	15,57	

PESO TOTAL	10908 gr	CUARTEO(PESO)	
		ANTES	500 g
		DESPUÉS	333,00 g

Fuente: Elaboración Propia.

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)						
N° CAPSULA	N° GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO CAPSULA	% DE HUMEDAD	% PROMEDI
100	----	75,85	74,60	15,53	2,12	
3B	----	86,60	85,18	18,00	2,11	2,11

Fuente: Elaboración Propia.

## 6.2. Relación peso unitario- humedad natural ASTM D 1557.

### Anexo 2: Datos del Proctor Modificado (Natural).

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD				
No. de Capas 5	Golpes por capa 56	Peso Martillo 10 lb	Altura caída 18"	PESO INICIAL DE LA MUESTRA 7000 g

MUESTRA >>>		1		2		3		4	
Molde No. M3									
Agua aumentada	cc	210		210		210		210	
	%	3		3		3		3	
Peso suelo húmedo + molde	A	10243		10395		10448		10443	
Peso del molde	B	6438		6438		6438		6438	
Peso suelo húmedo	C=A-B	3805		3957		4010		4005	
Volúmen del molde	D	2066		2066		2066		2066	
Densidad húmeda	E=C/D	1,84		1,92		1,94		1,94	
Tarro No.		20	6A	4B	13A	14A	10	13B	7B
Tarro + suelo húmedo	F	54,63	72,32	71,24	71,53	60,47	64,38	62,80	65,76
Tarro + suelo seco	G	52,97	69,98	67,53	67,85	56,33	59,56	57,71	60,46
Peso de agua	H=F-G	1,66	2,34	3,71	3,68	4,14	4,82	5,09	5,30
Peso del tarro	I	16,25	17,95	17,79	17,74	18,09	16,01	18,21	17,75
Peso del suelo seco	J=G-I	36,72	52,03	49,74	50,11	38,24	43,55	39,50	42,71
Contenido de agua	K=H/J	4,52%	4,50%	7,46%	7,34%	10,83%	11,07%	12,89%	12,41%
Contenido promedio	L	4,51%		7,40%		10,95%		12,65%	
Densidad seca	M	1,762		1,783		1,749		1,721	

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 3: Datos del Proctor Modificado (Emulsión Asfáltica 2%).

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD							
No. de Capas 5	Golpes por capa 56	Peso Martillo 10 lb	Altura caída 18"	PESO INICIAL DE LA MUESTRA 7000 g			
MUESTRA >>>		1	2	3			
<b>Molde No. M3</b>							
Agua aumentada	cc	210		280		280	
	%	3		4		4	
Peso suelo húmedo + molde	A	10264		10504		10340	
Peso del molde	B	6438		6438		6438	
Peso suelo húmedo	C=A-B	3826		4066		3902	
Volúmen del molde	D	2066		2066		2066	
Densidad húmeda	E=C/D	1,85		1,97		1,89	
<b>Tarro No.</b>		<b>13A</b>	<b>9A</b>	<b>5A</b>	<b>4</b>	<b>1A</b>	<b>11B</b>
Tarro + suelo húmedo	F	74,04	76,25	78,47	85,08	103,87	120,68
Tarro + suelo seco	G	70,47	73,09	72,56	78,29	93,51	107,84
Peso de agua	H=F-G	3,57	3,16	5,91	6,79	10,36	12,84
Peso del tarro	I	17,72	18,18	18,15	15,94	18,08	18,30
Peso del suelo seco	J=G-I	52,75	54,91	54,41	62,35	75,43	89,54
Contenido de agua	K=H/J	6,77%	5,75%	10,86%	10,89%	13,73%	14,34%
<b>Contenido promedio</b>	L	<b>6,26%</b>		<b>10,88%</b>		<b>14,04%</b>	
<b>Densidad seca</b>	M	<b>1,743</b>		<b>1,775</b>		<b>1,656</b>	

Fuente: Elaboración Propia.

**Anexo 4: Datos del Proctor Modificado (Emulsión Asfáltica 4%).**

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD							
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída	PESO INICIAL DE LA MUESTRA			
5	56	10 lb	18"	7000 g			
MUESTRA >>>		1		2		3	
<b>Molde No. M3</b>							
Agua aumentada	cc	210		210		210	
	%	3		3		3	
Peso suelo húmedo + molde	A	10261		10383		10386	
Peso del molde	B	6438		6438		6438	
Peso suelo húmedo	C=A-B	3823		3945		3948	
Volúmen del molde	D	2066		2066		2066	
Densidad húmeda	E=C/D	1,85		1,91		1,91	
<b>Tarro No.</b>		<b>10B</b>	<b>12A</b>	<b>20</b>	<b>5B</b>	<b>11A</b>	<b>1B</b>
Tarro + suelo húmedo	F	64,39	51,00	63,87	64,45	54,23	56,47
Tarro + suelo seco	G	60,81	48,41	58,82	59,52	50,49	52,41
Peso de agua	H=F-G	3,58	2,59	5,05	4,93	3,74	4,06
Peso del tarro	I	18,05	18,01	16,18	18,05	17,88	18,01
Peso del suelo seco	J=G-I	42,76	30,40	42,64	41,47	32,61	34,40
Contenido de agua	K=H/J	8,37%	8,52%	11,84%	11,89%	11,47%	11,80%
<b>Contenido promedio</b>	L	<b>8,45%</b>		<b>11,87%</b>		<b>11,64%</b>	
<b>Densidad seca</b>	M	<b>1,706</b>		<b>1,707</b>		<b>1,712</b>	

Fuente: Elaboración Propia.

**Anexo 5: Datos del Proctor Modificado (Emulsión Asfáltica 6%).**

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD							
<b>No. de Capas</b> 5	<b>Golpes por capa</b> 56	<b>Peso Martillo</b> 10 lb	<b>Altura caída</b> 18"	<b>PESO INICIAL DE LA MUESTRA</b> 7000 g			
<b>MUESTRA &gt;&gt;&gt;</b>		<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	
<b>Molde No. M3</b>							
Agua aumentada	cc	210		210		210	
	%	3		3		3	
Peso suelo húmedo + molde	A	10297		10362		10212	
Peso del molde	B	6438		6438		6438	
Peso suelo húmedo	C=A-B	3859		3924		3774	
Volúmen del molde	D	2066		2066		2066	
Densidad húmeda	E=C/D	1,87		1,90		1,83	
<b>Tarro No.</b>		<b>8A</b>	<b>14B</b>	<b>4B</b>	<b>17</b>	<b>100</b>	<b>13B</b>
Tarro + suelo húmedo	F	76,75	77,77	54,77	46,56	53,61	55,42
Tarro + suelo seco	G	71,73	72,55	51,00	43,43	49,05	51,19
Peso de agua	H=F-G	5,02	5,22	3,77	3,13	4,56	4,23
Peso del tarro	I	17,83	17,77	18,83	16,17	15,52	18,19
Peso del suelo seco	J=G-I	53,90	54,78	32,17	27,26	33,53	33,00
Contenido de agua	K=H/J	9,31%	9,53%	11,72%	11,48%	13,60%	12,82%
<b>Contenido promedio</b>	L	<b>9,42%</b>		<b>11,60%</b>		<b>13,21%</b>	
<b>Densidad seca</b>	M	<b>1,707</b>		<b>1,702</b>		<b>1,614</b>	

Fuente: Elaboración Propia.

**Anexo 6: Datos del Proctor Modificado (Aditivo 0.5 kg/m<sup>3</sup> – Cemento 0.75%).**

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD							
<b>No. de Capas</b> 5	<b>Golpes por capa</b> 56	<b>Peso Martillo</b> 10 lb	<b>Altura caída</b> 18"	<b>PESO INICIAL DE LA MUESTRA</b> 7000 g			
<b>MUESTRA &gt;&gt;&gt;</b>		<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	
<b>Molde No.</b>	<b>M3</b>						
Agua aumentada	cc	280		280		280	
	%	4		4		4	
Peso suelo húmedo + molde	A	10331		10416		10394	
Peso del molde	B	6438		6438		6438	
Peso suelo húmedo	C=A-B	3893		3978		3956	
Volúmen del molde	D	2066		2066		2066	
Densidad húmeda	E=C/D	1,88		1,93		1,91	
<b>Tarro No.</b>		<b>3B</b>	<b>1A</b>	<b>1B</b>	<b>12B</b>	<b>5B</b>	<b>17</b>
Tarro + suelo húmedo	F	59,87	64,20	59,12	72,66	69,95	81,86
Tarro + suelo seco	G	57,81	61,83	55,46	67,96	63,09	73,10
Peso de agua	H=F-G	2,06	2,37	3,66	4,70	6,86	8,76
Peso del tarro	I	17,99	18,08	18,03	18,14	18,04	16,20
Peso del suelo seco	J=G-I	39,82	43,75	37,43	49,82	45,05	56,90
Contenido de agua	K=H/J	5,17%	5,42%	9,78%	9,43%	15,23%	15,40%
<b>Contenido promedio</b>	L	<b>5,30%</b>		<b>9,61%</b>		<b>15,31%</b>	
<b>Densidad seca</b>	M	<b>1,790</b>		<b>1,757</b>		<b>1,661</b>	

**Fuente:** Elaboración Propia.

Anexo 7: Datos del Proctor Modificado (Aditivo 0.5 kg/m<sup>3</sup> – Cemento 1%).

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD							
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída	PESO INICIAL DE LA MUESTRA			
5	56	10 lb	18"	7000 g			
MUESTRA >>>		1	2	3			
<b>Molde No. M3</b>							
Agua aumentada	cc	210		280		280	
	%	3		4		4	
Peso suelo húmedo + molde	A	10205		10405		10498	
Peso del molde	B	6438		6438		6438	
Peso suelo húmedo	C=A-B	3767		3967		4060	
Volúmen del molde	D	2066		2066		2066	
Densidad húmeda	E=C/D	1,82		1,92		1,97	
<b>Tarro No.</b>		<b>13A</b>	<b>11B</b>	<b>5A</b>	<b>14B</b>	<b>20</b>	<b>14A</b>
Tarro + suelo húmedo	F	82,50	62,34	62,65	50,32	58,70	71,37
Tarro + suelo seco	G	79,97	60,68	59,32	47,70	54,19	65,71
Peso de agua	H=F-G	2,53	1,66	3,33	2,62	4,51	5,66
Peso del tarro	I	17,00	18,34	18,15	17,77	16,21	18,06
Peso del suelo seco	J=G-I	62,97	42,34	41,17	29,93	37,98	47,65
Contenido de agua	K=H/J	4,02%	3,92%	8,09%	8,75%	11,87%	11,88%
<b>Contenido promedio</b>	L	<b>3,97%</b>		<b>8,42%</b>		<b>11,88%</b>	
<b>Densidad seca</b>	M	<b>1,754</b>		<b>1,771</b>		<b>1,757</b>	

Fuente: Elaboración Propia.

**Anexo 8: Datos del Proctor Modificado (Aditivo 0.75 kg/m<sup>3</sup> – Cemento 1%).**

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD							
<b>No. de Capas</b> 5	<b>Golpes por capa</b> 56	<b>Peso Martillo</b> 10 lb	<b>Altura caída</b> 18"	<b>PESO INICIAL DE LA MUESTRA</b> 7000 g			
<b>MUESTRA &gt;&gt;&gt;</b>		<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	
<b>Molde No. M3</b>							
Agua aumentada	cc	280		280		280	
	%	<b>4</b>		<b>4</b>		<b>4</b>	
Peso suelo húmedo + molde	A	<b>10147</b>		<b>10467</b>		<b>10357</b>	
Peso del molde	B	<b>6438</b>		<b>6438</b>		<b>6438</b>	
Peso suelo húmedo	C=A-B	3709		4029		3919	
Volúmen del molde	D	<b>2066</b>		<b>2066</b>		<b>2066</b>	
Densidad húmeda	E=C/D	1,80		1,95		1,90	
<b>Tarro No.</b>		<b>8B</b>	<b>6A</b>	<b>10</b>	<b>10A</b>	<b>4B</b>	<b>6B</b>
Tarro + suelo húmedo	F	<b>82,20</b>	<b>77,13</b>	<b>56,97</b>	<b>77,17</b>	<b>79,87</b>	<b>83,52</b>
Tarro + suelo seco	G	<b>79,18</b>	<b>74,25</b>	<b>53,38</b>	<b>71,80</b>	<b>71,86</b>	<b>74,78</b>
Peso de agua	H=F-G	3,02	2,88	3,59	5,37	8,01	8,74
Peso del tarro	I	<b>18,33</b>	<b>17,91</b>	<b>16,02</b>	<b>18,39</b>	<b>17,85</b>	<b>18,00</b>
Peso del suelo seco	J=G-I	60,85	56,34	37,36	53,41	54,01	56,78
Contenido de agua	K=H/J	4,96%	5,11%	9,61%	10,05%	14,83%	15,39%
<b>Contenido promedio</b>	L	<b>5,04%</b>		<b>9,83%</b>		<b>15,11%</b>	
<b>Densidad seca</b>	M	<b>1,709</b>		<b>1,776</b>		<b>1,648</b>	

Fuente: Elaboración Propia.

**Anexo 9: Datos del Proctor Modificado (Cemento 1%).**

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD							
<b>No. de Capas</b> 5	<b>Golpes por capa</b> 56	<b>Peso Martillo</b> 10 lb	<b>Altura caída</b> 18"	<b>PESO INICIAL DE LA MUESTRA</b> 7000 g			
<b>MUESTRA &gt;&gt;&gt;</b>		<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	
<b>Molde No.</b>	<b>M3</b>						
Agua aumentada	cc	210		210		210	
	%	3		3		3	
Peso suelo húmedo + molde	A	10253		10551		10522	
Peso del molde	B	6438		6438		6438	
Peso suelo húmedo	C=A-B	3815		4113		4084	
Volúmen del molde	D	2066		2066		2066	
Densidad húmeda	E=C/D	1,85		1,99		1,98	
<b>Tarro No.</b>		<b>1A</b>	<b>14B</b>	<b>10</b>	<b>14A</b>	<b>8A</b>	<b>6B</b>
Tarro + suelo húmedo	F	62,73	59,47	66,32	78,13	70,65	70,67
Tarro + suelo seco	G	60,62	57,51	62,21	73,13	65,59	65,65
Peso de agua	H=F-G	2,11	1,96	4,11	5,00	5,06	5,02
Peso del tarro	I	18,09	17,80	16,02	18,07	17,94	17,91
Peso del suelo seco	J=G-I	42,53	39,71	46,19	55,06	47,65	47,74
Contenido de agua	K=H/J	4,96%	4,94%	8,90%	9,08%	10,62%	10,52%
<b>Contenido promedio</b>	L	4,95%		8,99%		10,57%	
<b>Densidad seca</b>	M	1,759		1,827		1,788	

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Anexo 10: Datos del Proctor Modificado (Cemento 3%).**

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD				
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída	PESO INICIAL DE LA MUESTRA
5	56	10 lb	18"	7000 g

MUESTRA >>>		1		2		3		4	
<b>Molde No. M3</b>									
Agua aumentada	cc	140		210		210		210	
	%	2		3		3		3	
Peso suelo húmedo + molde	A	10266		10450		10515		10438	
Peso del molde	B	6438		6438		6438		6438	
Peso suelo húmedo	C=A-B	3828		4012		4077		4000	
Volúmen del molde	D	2066		2066		2066		2066	
Densidad húmeda	E=C/D	1,85		1,94		1,97		1,94	
<b>Tarro No.</b>		<b>13A</b>	<b>4B</b>	<b>11B</b>	<b>12A</b>	<b>88</b>	<b>7A</b>	<b>20</b>	<b>6A</b>
Tarro + suelo húmedo	F	65,54	65,68	76,92	61,17	54,41	71,89	87,34	84,81
Tarro + suelo seco	G	63,92	64,04	72,93	58,17	50,84	66,98	79,13	77,15
Peso de agua	H=F-G	1,62	1,64	3,99	3,00	3,57	4,91	8,21	7,66
Peso del tarro	I	17,76	17,79	18,31	18,02	15,80	18,09	16,15	17,87
Peso del suelo seco	J=G-I	46,16	46,25	54,62	40,15	35,04	48,89	62,98	59,28
Contenido de agua	K=H/J	3,51%	3,55%	7,31%	7,47%	10,19%	10,04%	13,04%	12,92%
<b>Contenido promedio</b>	L	<b>3,53%</b>		<b>7,39%</b>		<b>10,12%</b>		<b>12,98%</b>	
<b>Densidad seca</b>	M	<b>1,790</b>		<b>1,808</b>		<b>1,792</b>		<b>1,714</b>	

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 11: Datos del Proctor Modificado (Cemento 5%).

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD							
No. de Capas 5	Golpes por capa 56	Peso Martillo 10 lb	Altura caída 18"	PESO INICIAL DE LA MUESTRA 7000 g			
MUESTRA >>>		1		2		3	
Molde No. M3							
Agua aumentada	cc	210		280		280	
	%	3		4		4	
Peso suelo húmedo + molde	A	10203		10503		10505	
Peso del molde	B	6438		6438		6438	
Peso suelo húmedo	C=A-B	3765		4065		4067	
Volúmen del molde	D	2066		2066		2066	
Densidad húmeda	E=C/D	1,82		1,97		1,97	
Tarro No.		12A	11B	7A	5A	14B	10A
Tarro + suelo húmedo	F	83,21	83,18	70,33	52,91	85,81	73,49
Tarro + suelo seco	G	80,95	80,95	66,66	50,37	78,71	67,71
Peso de agua	H=F-G	2,26	2,23	3,67	2,54	7,10	5,78
Peso del tarro	I	18,04	18,32	18,16	18,15	17,77	18,32
Peso del suelo seco	J=G-I	62,91	62,63	48,50	32,22	60,94	49,39
Contenido de agua	K=H/J	3,59%	3,56%	7,57%	7,88%	11,65%	11,70%
Contenido promedio	L	3,58%		7,73%		11,68%	
Densidad seca	M	1,759		1,826		1,763	

Fuente: Elaboración Propia.

### 6.3. Ensayo de California Bearing Ratio ASTM D 1883.

#### Anexo 12: Datos del CBR (Natural).

AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA ( CBR )				ASTM - D 1883							
MOLDE NUMERO		10				32				90			
No. DE CAPAS		5				5				5			
No. DE GOPES POR CAPA		56				25				10			
CONDICIONES DE LA MUESTRA		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.	
PESO MUESTRA HUMI g		11997		12167		11796		12077		11701		12028	
PESO MOLDE g		7536		7536		7617		7617		7569		7569	
PESO MUESTRA HUMI g		4461		4631		4179		4460		4132		4459	
VOLUMEN DE LA MUELA cm³		2262		2262		2253		2253		2274		2274	
PESO UNITARIO HUMO g/cm³		1,972		2,047		1,855		1,980		1,817		1,961	
PESO UNITARIO SECO g/cm³		1,837		1,891		1,731		1,794		1,699		1,764	
CONTENIDO DE AGUA		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
CAPSULA N°		20	17	2B	7A	5A	13B	10B	4A	11B	100	17	12B
PESO DE LA CAPSULA g		16,18	16,17	17,60	18,07	18,15	18,19	18,06	17,68	18,30	15,52	16,20	18,10
PESO DE MUESTRA HI g		54,25	39,49	77,19	83,77	43,65	44,23	83,97	80,77	35,15	41,91	72,31	77,36
PESO DE MUESTRA SI g		51,64	37,89	72,67	78,74	41,95	42,50	77,71	74,94	34,06	40,20	66,69	71,37
HUMEDAD %		7,36	7,37	8,21	8,29	7,14	7,12	10,49	10,18	6,92	6,93	11,13	11,24
PROMEDIO DE HUMEC %		7,36		8,25		7,13		10,34		6,92		11,19	

#### DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA HORAS	TIEMPO EN DIAS	MOL. N° 10		H (cm) = 12,7		MOL. N° 32		H (cm) = 12,7		MOL. N° 90		H (cm) = 12,7	
		DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO				
7/12/2021	Martes/12h	0	0	0,00		0	0	0,00		0	0	0,00	
8/12/2021	Miercoles/ 12h	0	0	0,00		0	0	0,00		0	0	0,00	
9/12/2021	Jueves/12h	0	0	0,00		0	0	0,00		0	0	0,00	
10/12/2021	Viernes/12h	0	0	0,00		0	0	0,00		0	0	0,00	

#### DATOS DE PENETRACION

AREA PISTON

2,995

PENETRA CION EN PULGADA	CARGAS TIPO	MOLDE N° 10			MOLDE N° 32			MOLDE N° 90		
		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO
		dial kn	lbs/pulg²	%	dial	lbs/pulg²	%	dial	lbs/pulg²	%
0		0	0		0	0		0	0	
0,025		0,628	47,2		0,35	26,3		0,22	16,5	
0,050		3,315	248,9		1,82	136,7		1,19	89,4	
0,075		8,342	626,4		4,59	344,7		2,98	223,8	
0,100	1000	12,98	974,6	97,5	7,14	536,1	53,6	4,64	348,4	34,8
0,150		20,17	1514,5		11,09	832,7		7,21	541,4	
0,200	1500	26,96	2024,4	135,0	14,83	1113,6	74,2	9,64	723,9	48,3
0,250		33,98	2551,5		18,69	1403,4		12,15	912,3	
0,300		40,03	3005,8		22,02	1653,4		14,31	1074,5	
0,500		50	3754,4		27,5	2064,9		17,88	1342,6	

Fuente: Elaboración Propia.

### Anexo 13: Datos del CBR (Emulsión Asfáltica 2%).

AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA ( CBR )						ASTM - D 1883				
MOLDE NUMERO		24			56			90				
No. DE CAPAS		5			5			5				
No. DE GOPES POR CAPA		56			25			10				
CONDICIONES DE LA MUESTRA		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.
PESO MUESTRA HUMEDA	g	11946		12179		11888		12045		11751		11890
PESO MOLDE	g	7365		7365		7518		7518		7569		7569
PESO MUESTRA HUMEDA	g	4591		4824		4370		4527		4182		4321
VOLUMEN DE LA MUESTRA	cm³	2309		2309		2314		2314		2274		2274
PESO UNITARIO HUMEDO	g/cm³	1,988		2,089		1,889		1,956		1,839		1,900
PESO UNITARIO SECO	g/cm³	1,821		1,899		1,736		1,761		1,702		1,706
CONTENIDO DE AGUA		ARRIBA		ABAJO		ARRIBA		ABAJO		ARRIBA		ABAJO
CAPSULA	Nº	1B		13B		4B		10B		20		13B
PESO DE LA CAPSULA	g	18,05		18,16		17,87		18,03		16,19		16,06
PESO DE MUESTRA HUME	g	80,37		74,47		73,04		61,97		82,57		58,01
PESO DE MUESTRA SECA	g	75,14		69,71		68,16		57,86		77,25		54,62
HUMEDAD	%	9,16		9,23		9,70		10,32		8,80		8,79
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9,20		10,01		8,80		11,08		8,06		11,41

#### DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA HORAS	TIEMPO EN DIAS	MOL. Nº 24		H (cm) = 12,7		MOL. Nº 56		H (cm) = 12,7		MOL. Nº 90		H (cm) = 12,7	
		DIAL		ESPONJAMIENTO		DIAL		ESPONJAMIENTO		DIAL		ESPONJAMIENTO	
4/12/2022	Martes/12h	0	0	0,00		0	0	0,00		0	0	0,00	
5/12/2022	Miercoles/ 12h	1	1	0,02		0	0	0,00		0	0	0,00	
6/12/2022	Jueves/12h	1	1	0,02		0	0	0,00		0	0	0,00	
7/12/2022	Viernes/12h	1	1	0,02		1	1	0,02		0	0	0,00	

#### DATOS DE PENETRACION

AREA PISTON

2,995

PENETRA- CION EN PULGADAS	CARGAS TIPO	MOLDE Nº 24				MOLDE Nº 56				MOLDE Nº 90			
		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	
		dial kn	lbs/pulg²	%		dial	lbs/pulg²	%		dial	lbs/pulg²	%	
0		0	0		0	0		0	0	0	0		0
0,025		0,648	48,7		0,29	21,8		0,17	12,8				
0,050		3,335	250,4		1,5	112,6		0,9	67,6				
0,075		8,456	634,9		3,76	282,3		2,26	169,7				
0,100	1000	13	976,2	97,6	5,85	439,3	43,9	3,51	263,6	26,4			
0,150		20,19	1516,0		9,09	682,6		5,45	409,2				
0,200	1500	26,98	2025,9	135,1	12,14	911,6	60,8	7,28	546,6	36,4			
0,250		33,7	2530,5		15,3	1148,9		9,18	689,3				
0,300		39,4	2958,5		18,02	1353,1		10,81	811,7				
0,500		50,02	3755,9		22,51	1690,2		13,51	1014,4				

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 14: Datos del CBR (Emulsión Asfáltica 4%).

AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA ( CBR )				ASTM - D 1883							
MOLDE NUMERO		8				10				29			
No. DE CAPAS		5				5				5			
No. DE GOSES POR CAPA		56				25				10			
CONDICIONES DE LA MUESTRA		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.	
PESO MUESTRA HUMED	g	11689		11942		11677		11964		11421		11852	
PESO MOLDE	g	7362		7362		7536		7536		7447		7447	
PESO MUESTRA HUMED	g	4327		4580		4141		4428		3974		4405	
VOLUMEN DE LA MUESTRA	cm³	2249		2249		2262		2262		2244		2244	
PESO UNITARIO HUMED	g/cm³	1,924		2,036		1,831		1,958		1,771		1,963	
PESO UNITARIO SECO	g/cm³	1,746		1,833		1,667		1,755		1,629		1,751	
CONTENIDO DE AGUA		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
CAPSULA	Nº	31	13B	3B	88	12A	10	6B	13A	100	15B	15B	100
PESO DE LA CAPSULA	g	15,99	18,16	18,01	15,82	18,01	16,06	17,92	17,78	15,62	18,11	18,11	15,62
PESO DE MUESTRA HUMED	g	60,1	53,59	69,96	69,27	76,71	62,72	62,21	68,62	59,12	68,17	61,91	49,43
PESO DE MUESTRA SECO	g	56,09	50,26	64,76	63,92	71,35	58,65	58,98	64,71	55,55	64,25	56,18	44,41
HUMEDAD	%	10,00	10,37	11,12	11,12	10,05	9,56	8,44	14,68	8,94	8,50	14,02	10,23
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	10,19		11,12		9,80		11,56		8,72		12,12	

### DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA HORAS	TIEMPO EN DIAS	MOL. Nº 8		H (cm) = 12,7		MOL. Nº 10		H (cm) = 12,7		MOL. Nº 29		H (cm) = 12,7	
		DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO		
4/12/2022	Martes/12h	0	0	0,00		0	0	0,00		0	0	0,00	
5/12/2022	Miercoles/ 12h	0	0	0,00		1	1	0,02		0	0	0,00	
6/12/2022	Jueves/12h	0	0	0,00		1	1	0,02		0	0	0,00	
7/12/2022	Viernes/12h	0	0	0,00		1	1	0,02		0	0	0,00	

### DATOS DE PENETRACION

AREA PISTON

2,995

PENETRACION EN PULGADAS	CARGAS TIPO	MOLDE Nº 8				MOLDE Nº 10				MOLDE Nº 29			
		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO			
		dial kn	lbs/pulg²		dial	lbs/pulg²		dial	lbs/pulg²				
0		0	0		0	0		0	0				
0,025		0,708	53,2		0,32	24,0		0,14	10,5				
0,050		3,395	254,9		1,53	114,9		0,69	51,8				
0,075		8,422	632,4		3,79	284,6		1,71	128,4				
0,100	1000	13,06	980,7	98,1	5,88	441,5	44,2	2,64	198,2	19,8			
0,150		20,25	1520,5		9,11	684,1		4,1	307,9				
0,200	1500	27,04	2030,4	135,4	12,17	913,8	60,9	5,48	411,5	27,4			
0,250		34,06	2557,5		15,33	1151,1		6,9	518,1				
0,300		40	3003,5		18	1351,6		8,1	608,2				
0,500		50,08	3760,4		22,54	1692,5		10,14	761,4				

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 15: Datos del CBR (Emulsión Asfáltica 6%)

AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA ( CBR )				ASTM - D 1883						
MOLDE NUMERO	9				70				82			
No. DE CAPAS	5				5				5			
No. DE GOPES POR CAPA	56				25				10			
CONDICIONES DE LA MUESTRA	ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.	
PESO MUESTRA HUMEDA g	11751		12008		11809		12068		11631		11899	
PESO MOLDE g	7395		7395		7733		7733		7634		7634	
PESO MUESTRA HUMEDA g	4356		4613		4076		4335		3997		4265	
VOLUMEN DE LA MUESTRA cm³	2253		2253		2238		2238		2274		2274	
PESO UNITARIO HUMEDO g/cm³	1,933		2,047		1,821		1,937		1,758		1,876	
PESO UNITARIO SECO g/cm³	1,801		1,879		1,706		1,765		1,657		1,698	
CONTENIDO DE AGUA	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
CAPSULA Nº	11B	1B	5B	31	10B	10A	12A	10A	20	88	14B	7B
PESO DE LA CAPSULA g	18,32	18,05	18,05	16,00	18,04	18,31	18,00	18,40	16,19	15,83	17,82	17,73
PESO DE MUESTRA HUMEDA g	70,64	61,52	81,61	84,48	67,36	75,63	79,33	78,66	70,17	57,08	63,75	69,81
PESO DE MUESTRA SECA g	67,03	58,57	76,37	78,85	64,10	72,17	75,14	74,59	67,09	54,73	58,15	63,49
HUMEDAD %	7,41	7,28	8,98	8,96	7,08	6,42	10,44	9,03	6,05	6,04	9,77	11,12
PROMEDIO DE HUMEDAD %	7,35		8,97		6,75		9,73		6,05		10,44	

### DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA HORAS	TIEMPO EN DIAS	MOL. Nº 9		H (cm) = 12,7		MOL. Nº 70		H (cm) = 12,7		MOL. Nº 82		H (cm) = 12,7	
		DIAL		ESPONJAMIENTO		DIAL		ESPONJAMIENTO		DIAL		ESPONJAMIENTO	
4/12/2022	Martes/12h	0	0	0,00		0	0	0,00		0	0	0,00	
5/12/2022	Miercoles/ 12h	0	0	0,00		0	0	0,00		0	0	0,00	
6/12/2022	Jueves/12h	0	0	0,00		0	0	0,00		0	0	0,00	
7/12/2022	Viernes/12h	0	0	0,00		0	0	0,00		0	0	0,00	

### DATOS DE PENETRACION

AREA PISTON

2,995

PENETRA-CION EN PULGADAS	CARGAS TIPO	MOLDE Nº 9			MOLDE Nº 70			MOLDE Nº 82		
		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO
		dial kn	lbs/pulg²	%	dial	lbs/pulg²	%	dial	lbs/pulg²	%
0		0	0		0	0		0	0	
0,025		0,828	62,2		0,5	37,5		0,3	22,5	
0,050		3,515	263,9		2,11	158,4		1,27	95,4	
0,075		8,542	641,4		5,13	385,2		3,08	231,3	
0,100	1000	13,18	989,7	99,0	7,91	593,9	59,4	4,74	355,9	35,6
0,150		20,37	1529,6		12,22	917,6		7,33	550,4	
0,200	1500	27,16	2039,4	136,0	16,3	1223,9	81,6	9,78	734,4	49,0
0,250		34,18	2566,5		20,51	1540,1		12,3	923,6	
0,300		39,7	2981,0		23,82	1788,6		14,29	1073,0	
0,500		50,2	3769,4		30,12	2261,7		18,07	1356,8	

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 16: Datos del CBR (Aditivo 0.5 kg/m<sup>3</sup> – Cemento 0.75%).

AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA ( CBR )				ASTM - D 1883							
MOLDE NUMERO		26				70				74			
No. DE CAPAS		5				5				5			
No. DE GOPES POR CAPA		56				25				10			
CONDICIONES DE LA MUESTRA		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.	
PESO MUESTRA HUMEDA	g	11847		12137		11789		12039		11689		11969	
PESO MOLDE	g	7439		7439		7733		7733		7587		7587	
PESO MUESTRA HUMEDA	g	4408		4698		4056		4306		4102		4382	
VOLUMEN DE LA MUESTRA	cm <sup>3</sup>	2262		2262		2238		2238		2292		2292	
PESO UNITARIO HUMEDO	g/cm <sup>3</sup>	1,949		2,077		1,812		1,924		1,790		1,912	
PESO UNITARIO SECO	g/cm <sup>3</sup>	1,815		1,909		1,693		1,759		1,673		1,713	
CONTENIDO DE AGUA		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
CAPSULA	Nº	7A	13B	8A	1B	8A	10B	4	5B	100	10	7A	15A
PESO DE LA CAPSULA	g	18,10	18,19	17,82	18,02	17,83	18,04	15,94	18,05	15,52	16,00	18,11	17,83
PESO DE MUESTRA HUMEDA	g	50,50	50,76	68,82	77,52	64,31	57,64	41,15	58,22	65,92	58,86	70,57	64,31
PESO DE MUESTRA SECA	g	48,28	48,52	64,92	72,47	61,24	55,03	38,55	55,51	62,64	56,06	65,06	59,50
HUMEDAD	%	7,36	7,39	8,28	9,27	7,07	7,06	11,50	7,23	6,96	6,99	11,74	11,54
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	7,37		8,78		7,06		9,37		6,98		11,64	

### DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA HORAS	TIEMPO EN DIAS	MOL. Nº 26		H (cm) = 12,7		MOL. Nº 70		H (cm) = 12,7		MOL. Nº 74		H (cm) = 12,7	
		DIAL		ESPONJAMIENTO		DIAL		ESPONJAMIENTO		DIAL		ESPONJAMIENTO	
14/12/2021	Martes/ 10h	0	0	0,00		0	0	0,00		0	0	0,00	
15/12/2021	Miercoles/ 10h	0	0	0,00		0	0	0,00		0	0	0,00	
16/12/2021	Jueves/10h	1	1	0,02		0	0	0,00		0	0	0,00	
17/12/2021	Viernes/10h	1	1	0,02		0	0	0,00		0	0	0,00	

### DATOS DE PENETRACION

AREA PISTON

2,995

PENETRA- CION EN PULGADAS	CARGAS TIPO	MOLDE Nº 26				MOLDE Nº 70				MOLDE Nº 74			
		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO			
		dial kn	lbs/pulg <sup>2</sup>		%	dial		lbs/pulg <sup>2</sup>	%		dial	lbs/pulg <sup>2</sup>	%
0		0	0		0	0		0	0		0	0	
0,025		7,97	598,5		3,59	269,6		1,97	147,9				
0,050		16,07	1206,7		7,23	542,9		3,98	298,9				
0,075		22,2	1667,0		9,99	750,1		4,95	371,7				
0,100	1000	28,43	2134,8	213,5	12,12	910,1	91,0	5,56	417,5	41,7			
0,150		34,61	2598,8		14,26	1070,8		7,78	584,2				
0,200	1500	38,93	2923,2	194,9	17,52	1315,6	87,7	9,64	723,9	48,3			
0,250		43,68	3279,9		19,66	1476,2		10,81	811,7				
0,300		46,23	3471,3		20,8	1561,8		11,44	859,0				
0,500		50	3754,4		22,5	1689,5		12,38	929,6				

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 17: Datos del CBR (Aditivo 0.5 kg/m<sup>3</sup> – Cemento 1%).

AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA ( CBR )						ASTM - D 1883									
MOLDE NUMERO		41						56						82			
No. DE CAPAS		5						5						5			
No. DE GOPES POR CAPA		56						25						10			
CONDICIONES DE LA MUESTRA		ANTES DE SAT.			DESPUES DE SAT.			ANTES DE SAT.			DESPUES DE SAT.			ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.	
PESO MUESTRA HUMEDA	g	11884			12134			11762			12042			11701		11941	
PESO MOLDE	g	7502			7502			7518			7518			7634		7634	
PESO MUESTRA HUMEDA	g	4382			4632			4244			4524			4067		4307	
VOLUMEN DE LA MUESTRA	cm <sup>3</sup>	2262			2262			2314			2314			2274		2274	
PESO UNITARIO HUMEDO	g/cm <sup>3</sup>	1,937			2,048			1,834			1,955			1,788		1,894	
PESO UNITARIO SECO	g/cm <sup>3</sup>	1,773			1,860			1,683			1,735			1,648		1,663	
CONTENIDO DE AGUA		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
CAPSULA	Nº	7A	13B	8A	1B	8A	10B	4	5B	100	10	7A	15A				
PESO DE LA CAPSULA	g	18,10	18,19	17,82	18,02	17,83	18,04	15,94	18,05	15,52	16,00	18,11	17,83				
PESO DE MUESTRA HUMEDA	g	51,07	51,34	69,72	77,92	65,12	58,35	41,45	60,22	66,67	59,48	71,57	65,31				
PESO DE MUESTRA SECA	g	48,28	48,52	64,92	72,47	61,24	55,03	38,55	55,51	62,64	56,06	65,06	59,50				
HUMEDAD	%	9,24	9,30	10,19	10,01	8,94	8,98	12,83	12,57	8,55	8,54	13,87	13,94				
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9,27		10,10		8,96		12,70		8,54		13,90					

### DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA HORAS	TIEMPO EN DIAS	MOL. Nº 41		H (cm) = 12,7		MOL. Nº 56		H (cm) = 12,7		MOL. Nº 82		H (cm) = 12,7	
		DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO				
14/12/2021	Martes/ 10h	0	0	0,00		0	0	0,00		0	0	0,00	
15/12/2021	Miercoles/ 10h	0	0	0,00		1	1	0,02		0	0	0,00	
16/12/2021	Jueves/10h	1	1	0,02		1	1	0,02		0	0	0,00	
17/12/2021	Viernes/10h	1	1	0,02		1	1	0,02		1	1	0,02	

### DATOS DE PENETRACION

AREA PISTON

2,995

PENETRACION EN PULGADAS	CARGAS TIPO	MOLDE Nº 41			MOLDE Nº 56			MOLDE Nº 82		
		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO
		dial kn	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	dial	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	dial	lbs/pulg <sup>2</sup>	%
0		0	0		0	0		0	0	
0,025		2,5	187,7		1,25	93,9		0,75	56,3	
0,050		11	826,0		5,5	413,0		3,3	247,8	
0,075		18,1	1359,1		9,05	679,6		5,43	407,7	
0,100	1000	23	1727,0	172,7	11,5	863,5	86,4	6,9	518,1	51,8
0,150		29,6	2222,6		14,8	1111,3		8,88	666,8	
0,200	1500	35,7	2680,7	178,7	17,86	1341,1	89,4	10,71	804,2	53,6
0,250		40,4	3033,6		20,2	1516,8		12,12	910,1	
0,300		44,1	3311,4		22,05	1655,7		13,23	993,4	
0,500		50	3754,4		25	1877,2		15	1126,3	

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 18: Datos del CBR (Aditivo 0.75 kg/m3 – Cemento 1%).

AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA ( CBR )						ASTM - D 1883					
MOLDE NUMERO		9			27			62					
No. DE CAPAS		5			5			5			5		
No. DE GOPE POR CAPA		56			25			10			10		
CONDICIONES DE LA MUESTRA		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.	
PESO MUESTRA HUMEDA g		11698		11898		11555		11805		11455		11735	
PESO MOLDE g		7395		7395		7253		7253		7412		7412	
PESO MUESTRA HUMEDA g		4303		4503		4302		4552		4043		4323	
VOLUMEN DE LA MUESTRA cm³		2253		2253		2309		2309		2244		2244	
PESO UNITARIO HUMEDO g/cm³		1,910		1,999		1,863		1,971		1,802		1,926	
PESO UNITARIO SECO g/cm³		1,766		1,816		1,726		1,766		1,671		1,718	
CONTENIDO DE AGUA		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
CAPSULA Nº		10A	6B	12A	4B	5A	15A	10B	11A	15B	12A	1A	14B
PESO DE LA CAPSULA g		18,37	17,98	18,03	17,83	18,22	17,87	18,04	17,88	18,05	18,01	18,08	17,77
PESO DE MUESTRA HUMEDA g		63,57	56,07	68,59	74,12	59,52	63,30	40,76	54,39	66,12	78,07	63,00	48,22
PESO DE MUESTRA SECA g		60,20	53,19	64,03	68,91	56,44	60,01	38,44	50,52	62,65	73,72	58,05	44,99
HUMEDAD %		8,06	8,18	9,91	10,20	8,06	7,81	11,37	11,86	7,78	7,81	12,38	11,87
PROMEDIO DE HUMEDAD %		8,12		10,06		7,93		11,61		7,79		12,13	

DATOS DE ESPONJAMIENTO													
FECHA HORAS	TIEMPO EN DIAS	MOL. Nº 9		H (cm) = 12,7		MOL. Nº 27		H (cm) = 12,7		MOL. Nº 62		H (cm) = 12,7	
		DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO				
14/12/2021	Martes/ 10h	0	0	0,00		0	0	0,00		0	0	0,00	
15/12/2021	Miercoles/ 10h	0	0	0,00		0	0	0,00		1	1	0,02	
16/12/2021	Jueves/10h	0	0	0,00		0	0	0,00		1	1	0,02	
17/12/2021	Viernes/10h	0	0	0,00		1	1	0,02		1	1	0,02	

DATOS DE PENETRACION										
AREA PISTON					2,995					
PENETRACION EN PULGADAS	CARGAS TIPO	MOLDE Nº 9			MOLDE Nº 27			MOLDE Nº 62		
		CARGA DE ENSAYO	CBR CORREGIDO	%	CARGA DE ENSAYO	CBR CORREGIDO	%	CARGA DE ENSAYO	CBR CORREGIDO	%
0		dial kn	lbs/pulg²	%	dial	lbs/pulg²	%	dial	lbs/pulg²	%
0		0	0		0	0		0	0	
0,025		5,12	384,5		2,56	192,2		1,536	115,3	
0,050		14,4	1081,3		7,2	540,6		5,56	417,5	
0,075		21,6	1621,9		10,8	811,0		8,56	642,8	
0,100	1000	28,1	2110,0	211,0	16,06	1205,9	120,6	9,32	699,8	70,0
0,150		34,7	2605,6		17,95	1347,8		10,99	825,2	
0,200	1500	39,3	2951,0	196,7	20,98	1575,4	105,0	12,89	967,9	64,5
0,250		43,9	3296,4		21,95	1648,2		13,17	988,9	
0,300		47,1	3536,7		23,55	1768,3		14,13	1061,0	
0,500		50,1	3761,9		25,05	1881,0		15,03	1128,6	

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 19: Datos del CBR (Cemento 1%).

AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA ( CBR )				ASTM - D 1883								
MOLDE NUMERO	6				63				85					
No. DE CAPAS	5				5				5					
No. DE GOPEs POR CAPA	56				25				10					
CONDICIONES DE LA MUESTRA	ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.			
PESO MUESTRA HUMEDI	g		10698		10908		11951		12150		11607		11716	
PESO MOLDE	g		6121		6121		7621		7621		7354		7354	
PESO MUESTRA HUMEDI	g		4577		4787		4330		4529		4253		4362	
VOLUMEN DE LA MUESTRA	cm³		2258		2258		2244		2244		2274		2274	
PESO UNITARIO HUMEDI	g/cm³		2,027		2,120		1,930		2,018		1,870		1,918	
PESO UNITARIO SECO	g/cm³		1,875		1,929		1,798		1,818		1,753		1,706	
CONTENIDO DE AGUA	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
CAPSULA	Nº	2A	10A	2A	9A	4	10	4	5A	11A	13A	31	3B	
PESO DE LA CAPSULA	g	18,18	18,33	18,21	18,16	15,93	15,99	15,97	18,19	17,81	17,72	15,98	18,05	
PESO DE MUESTRA HUMEDI	g	56,81	58,7	63,05	65,77	64,27	65,39	66,07	66,12	63,02	55,49	60,24	68,32	
PESO DE MUESTRA SECA	g	53,92	55,68	59,03	61,48	60,98	62,01	61,05	62,08	60,15	53,14	54,92	62,58	
HUMEDAD	%	8,09	8,09	9,85	9,90	7,30	7,34	12,89	9,10	6,78	6,63	11,80	13,04	
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8,09		9,88		7,32		10,99		6,71		12,42		

### DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA HORAS	TIEMPO EN DIAS	MOL. Nº 6			MOL. Nº 63			MOL. Nº 85		
		DIAL		H (cm) = 12,7 ESPONJAMIENTO	DIAL		H (cm) = 12,7 ESPONJAMIENTO	DIAL		H (cm) = 12,7 ESPONJAMIENTO
7/12/2021	Martes/12h	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
8/12/2021	Miercoles/ 12h	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
9/12/2021	Jueves/12h	1	1	0,02	0	0	0,00	1	1	0,02
10/12/2021	Viernes/12h	1	1	0,02	1	1	0,02	1	1	0,02

### DATOS DE PENETRACION

AREA PISTON

2,995

PENETRACION EN PULGADAS	CARGAS TIPO	MOLDE Nº 6			MOLDE Nº 63			MOLDE Nº 85		
		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO
		dial kn	lbs/pulg²	%	dial	lbs/pulg²	%	dial	lbs/pulg²	%
0		0	0		0	0		0	0	
0,025		10,63	798,2		6,38	479,1		3,83	287,6	
0,050		16,15	1212,7		9,69	727,6		5,81	436,3	
0,075		21,75	1633,2		13,05	979,9		7,83	587,9	
0,100	1000	26,93	2022,1	202,2	16,16	1213,4	121,3	9,69	727,6	72,8
0,150		34,62	2599,6		20,77	1559,6		12,46	935,6	
0,200	1500	39,54	2969,0	197,9	23,72	1781,1	118,7	14,23	1068,5	71,2
0,250		43,97	3301,6		26,38	1980,8		15,83	1188,7	
0,300		45,96	3451,1		27,58	2070,9		16,55	1242,7	
0,500		50	3754,4		30	2252,7		18	1351,6	

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 20: Datos del CBR (Cemento 3%).

AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA ( CBR )				ASTM - D 1883							
MOLDE NUMERO	8				24				29				
No. DE CAPAS	5				5				5				
No. DE GOSES POR CAPA	56				25				10				
CONDICIONES DE LA MUESTRA	ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		
PESO MUESTRA HUMEDI	g		11708		12200		11676		12086		11494		
PESO MOLDE	g		7362		7362		7355		7355		7447		
PESO MUESTRA HUMEDI	g		4346		4838		4321		4731		4047		
VOLUMEN DE LA MUESTRA	cm <sup>3</sup>		2249		2249		2309		2309		2244		
PESO UNITARIO HUMEDI	g/cm <sup>3</sup>		1,932		2,151		1,871		2,049		1,803		
PESO UNITARIO SECO	g/cm <sup>3</sup>		1,810		1,912		1,758		1,798		1,700		
CONTENIDO DE AGUA	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	
CAPSULA	Nº	6A	9A	11A	12A	1B	7B	15B	4B	5B	2B	10	100
PESO DE LA CAPSULA	g	17,85	18,12	17,88	18,02	18,02	17,72	18,11	17,87	18,04	17,62	16,07	15,66
PESO DE MUESTRA HUMEDI	g	61,40	61,84	67,45	74,66	68,47	71,07	67,12	64,15	59,48	58,54	63,85	66,33
PESO DE MUESTRA SECA	g	58,64	59,09	62,12	68,14	65,42	67,85	61,37	58,53	57,10	56,20	57,54	60,08
HUMEDAD	%	6,77	6,71	12,05	13,01	6,43	6,42	14,58	13,31	6,09	6,07	13,93	14,58
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	6,74		12,53		6,43		13,95		6,08		14,25	

### DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA HORAS	TIEMPO EN DIAS	MOL. Nº 8		H (cm) = 12,7		MOL. Nº 24		H (cm) = 12,7		MOL. Nº 29		H (cm) = 12,7	
		DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO		
7/12/2021	Martes/12h	0	0	0,00		0	0	0,00		0	0	0,00	
8/12/2021	Miercoles/ 12h	0	0	0,00		0	0	0,00		1	1	0,02	
9/12/2021	Jueves/12h	1	1	0,02		0	0	0,00		1	1	0,02	
10/12/2021	Viernes/12h	1	1	0,02		1	1	0,02		1	1	0,02	

### DATOS DE PENETRACION

AREA PISTON 2,995

PENETRACION EN PULGADAS	CARGAS TIPO	MOLDE Nº 8				MOLDE Nº 24				MOLDE Nº 29			
		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO			
		dial kn	lbs/pulg <sup>2</sup>		dial	lbs/pulg <sup>2</sup>		dial	lbs/pulg <sup>2</sup>				
0		0	0		0	0		0	0				
0,025		7,002	525,8		3,5	262,8		2,1	157,7				
0,050		12,95	972,4		6,48	486,6		3,89	292,1				
0,075		18,83	1413,9		9,42	707,3		5,65	424,2				
0,100	1000	24,1	1809,6	181,0	12,05	904,8	90,5	7,23	542,9	54,3			
0,150		31,64	2375,8		15,82	1187,9		9,79	735,1				
0,200	1500	36,94	2773,8	184,9	18,47	1386,9	92,5	11,08	832,0	55,5			
0,250		41,51	3116,9		20,76	1558,8		12,45	934,9				
0,300		44,73	3358,7		22,37	1679,7		13,42	1007,7				
0,500		50	3754,4		25	1877,2		15	1126,3				

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 21: Datos del CBR (Cemento 5%).

AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA ( CBR )				ASTM - D 1883						
MOLDE NUMERO	3	66				87						
No. DE CAPAS	5	5				5						
No. DE GOSES POR CAPA	56	25				10						
CONDICIONES DE LA MUESTRA	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.				
PESO MUESTRA HUMEDA g	11667	11957		11777	12066		11677	11951				
PESO MOLDE g	7257	7257		7670	7670		7567	7567				
PESO MUESTRA HUMEDA g	4410	4700		4107	4396		4110	4384				
VOLUMEN DE LA MUESTRA cm <sup>3</sup>	2241	2241		2244	2244		2274	2274				
PESO UNITARIO HUMEDO g/cm <sup>3</sup>	1,968	2,097		1,830	1,959		1,807	1,928				
PESO UNITARIO SECO g/cm <sup>3</sup>	1,828	1,924		1,708	1,741		1,696	1,698				
CONTENIDO DE AGUA	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO		
CAPSULA Nº	15B	3B	10B	14B	8A	6B	1B	5B	4B	12A	88	8A
PESO DE LA CAPSULA g	18,03	17,99	18,06	17,78	17,84	17,95	18,14	18,1	17,77	18,02	18,33	17,83
PESO DE MUESTRA HUMEDA g	48,15	54,55	59,86	65,59	48,35	54,47	66,71	65,2	48,75	65,76	65,04	64,44
PESO DE MUESTRA SECA g	46,01	51,94	56,42	61,62	46,31	52,03	61,51	60,18	46,84	62,81	59,27	58,61
HUMEDAD %	7,65	7,69	8,97	9,06	7,17	7,16	12,64	12,39	6,57	6,59	13,36	13,77
PROMEDIO DE HUMEDAD %	7,67		9,01		7,16		12,52		6,58		13,56	

### DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA HORAS	TIEMPO EN DIAS	MOL. Nº 3		H (cm) = 12,7		MOL. Nº 66		H (cm) = 12,7		MOL. Nº 87		H (cm) = 12,7	
		DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO				
7/12/2021	Martes/12h	0	0	0,00		0	0	0,00		0	0	0,00	
8/12/2021	Miercoles/ 12h	1	1	0,02		1	1	0,02		1	1	0,02	
9/12/2021	Jueves/12h	1	1	0,02		1	1	0,02		1	1	0,02	
10/12/2021	Viernes/12h	1	1	0,02		1	1	0,02		1	1	0,02	

### DATOS DE PENETRACION

AREA PISTON

2,995

PENETRA- CION EN PULGADAS	CARGAS TIPO	MOLDE Nº 3			MOLDE Nº 66			MOLDE Nº 87		
		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO
		dial kn	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	dial	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	dial	lbs/pulg <sup>2</sup>	%
0		0	0		0	0		0	0	
0,025		7,3	548,1		3,29	247,0		1,97	147,9	
0,050		13,89	1043,0		6,25	469,3		3,75	281,6	
0,075		21,1	1584,4		9,5	713,3		5,7	428,0	
0,100	1000	25,9	1944,8	194,5	11,66	875,5	87,6	6,99	524,9	52,5
0,150		34,6	2598,1		15,57	1169,1		9,34	701,3	
0,200	1500	39,98	3002,0	200,1	17,99	1350,8	90,1	10,79	810,2	54,0
0,250		42,9	3221,3		19,31	1450,0		11,58	869,5	
0,300		45,6	3424,0		20,52	1540,8		12,31	924,3	
0,500		50,17	3767,2		22,58	1695,5		13,55	1017,4	

Fuente: Elaboración Propia

## 6.4. Ensayos en laboratorio.

### Anexo 22: Cuarteo de la muestra.



Fuente: Elaboración Propia

**Anexo 23: Toma de Humedades.**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 24: Granulometría.**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 25: Preparación de Suelo más emulsión Asfáltica.**



**Fuente:** Elaboración Propia

## Anexo 26: Preparación de Suelo más Aditivo Químico



**Fuente:** Elaboración Propia

## Anexo 27: Preparación de Suelo más Cemento.



Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 28: Preparación de Suelo Natural.



**Fuente:** Elaboración Propia

## Anexo 29: Ensayo Proctor Modificado.



**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 30: Enrazar los moldes de Proctor Modificado y CBR.**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 31: Toma de humedades de Proctor Modificado y CBR.**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 32: Peso de los moldes de CBR antes de sumergir al agua.**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 33: Surgimiento de moldes CBR.**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 34: Moldes listos del CBR para ensayar.**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 35: Moldes ensayados del CBR.**



**Fuente:** Elaboración Propia.