

**ANALISIS Y ESTABILIZACION DE SUELOS CON SISTEMAS TRANSPORTADOS
DE COLOIDES (STC)**

**YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS
MIGUEL ANGEL ORTIZ MANCHEGO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BUCARAMANGA
2016**

**ANALISIS Y ESTABILIZACION DE SUELOS CON SISTEMAS TRANSPORTADOS
DE COLOIDES (STC)**

**YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS
MIGUEL ANGEL ORTIZ MANCHEGO**

**Proyecto de grado para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

DIRECTOR:

ING. JULIAN A. GALVIS FLOREZ

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BUCARAMANGA
2016**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Ante todo, doy gracias a Dios por permitirme realizar mis estudios y objetivos hasta el momento, por brindarme la salud y el conocimiento para desarrollar mis capacidades intelectuales.

A mis padres por ser mi pilar fundamental de todo lo que soy, por su incondicional apoyo a través del tiempo.

A mis hermanos por darme su apoyo incondicional y compañía a lo largo de la carrera.

A mis compañeros que compartieron conmigo cada semestre y estar apoyándonos mutuamente a lo largo de la carrera.

YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS

En primer lugar, a Dios por haberme permitido llegar hasta este lugar, sin el nada de esto hubiera sido posible.

A cada uno de los que son parte de mi familia a mi PADRE Miguel Antonio Ortiz, mi MADRE Myriam Manchego, a mi hermana Silvia Juliana; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora.

MIGUEL ANGEL ORTIZ MANCHEGO

AGRADECIMIENTOS

A nuestros maestros que, en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarnos como unas personas de bien y preparadas para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos les dedico una de estas páginas de nuestra tesis.

Al ingeniero Julián André Galvis, director del proyecto, por brindar su confianza y conocimientos en nosotros y ese apoyo en la realización de este trabajo de grado.

Un agradecimiento muy especial al ingeniero German Moreno, gerente general de KEMTEK, empresa la cual nos suministró el producto STASOIL, por su apoyo y experiencia en el desarrollo de sistemas coloidales.

Y por último todas aquellas que nos brindaron su apoyo en la realización de este proyecto de grado.

Yefferson Alexander Ortega Vargas

Miguel Ángel Ortiz Manchego

CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| 1. FORMULACION DEL PROBLEMA | 10 |
| 2. OBJETIVOS | 11 |
| 2.1. Objetivos General | 11 |
| 2.2. Objetivos Específicos | 11 |
| 3. JUSTIFICACION | 12 |
| 4. ALCANCE | 13 |
| 5. MARCO TEORICO | 14 |
| 5.1. Introducción de un pavimento | 14 |
| 5.1.1. Componentes estructurales de un pavimento | 14 |
| 5.1.2. Fundamentos del diseño de pavimentos | 14 |
| 5.1.3. Factores que intervienen en el cálculo de espesores | 15 |
| 5.2. Introducción de cimentaciones | 16 |
| 5.2.1. Sub-rasante | 17 |
| 5.2.2. Caracterización de un suelo | 17 |
| 5.2.2.1 Determinación del contenido de humedad | 17 |
| 5.2.2.2 Análisis granulométrico | 18 |
| 5.2.2.3 Determinación del límite plástico de los suelos | 18 |
| 5.2.2.4 Determinación del límite líquido de los suelos | 18 |
| 5.2.3. Determinación de la resistencia de los suelos | 18 |
| 5.2.3.1 Ensayo de CBR | 18 |
| 5.2.3.2 Ensayo de compresión simple | 19 |
| 5.2.3.3 Ensayo de corte directo | 19 |
| 5.3. Antecedentes CBR | 20 |
| 5.4. Definición CBR | 20 |
| 5.5. Definición número CBR | 21 |
| 5.6. Sistemas transportados de coloides (STC) | 23 |
| 5.6.1. S.T.C utilizado en la construcción | 24 |
| 5.6.2. Definición STASOIL | 24 |
| 5.6.3. Usos y aplicaciones | 25 |
| 5.6.4. Ventajas del uso de STASOIL | 25 |
| 6. METODOLOGIA | 26 |
| 7. RESULTADOS Y CALCULOS DE LABORATORIOS | 28 |
| 7.1. Ensayos de caracterización | 29 |
| 7.1.1 Ensayos de humedad | 29 |
| 7.1.2 Ensayos de granulometria | 31 |
| 7.1.3 Ensayos de límites de Atterberg | 37 |
| 7.2. Ensayos de compactación | 41 |
| 7.3. Ensayos de compresión simple | 44 |
| 7.3.1 Ensayo de compresion simple SSC | 50 |
| 7.4. Ensayos de corte directo (consolidado drenado) | 56 |
| 7.4.1 Ensayo de corte directo SSC | 64 |
| 7.5 Ensayos de CBR | 68 |
| 7.5.1 Ensayo de CBR SSC | 84 |

| | |
|--|------------|
| 8. ANALISIS DE RESULTADOS | 96 |
| 8.1 Compresion simple | 96 |
| 8.2 Corte Directo | 98 |
| 8.3 CBR | 101 |
| 9. CONCLUSIONES | 104 |
| 10. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES | 106 |
| 11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 107 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|---------|--|----|
| FIG 1. | Definición de CBR. | 20 |
| FIG 2. | Talud expuesto. | 28 |
| FIG 3. | Bodega suelo recolectado. | 29 |
| FIG 4. | Bodega suelo recolectado. | 29 |
| FIG 5. | Taras de humedad. | 30 |
| FIG 6. | Tamices de granulometría | 31 |
| FIG 7. | Grafica de granulometría ensayo 1. | 33 |
| FIG 8. | Grafica de granulometría ensayo 2. | 35 |
| FIG 9. | Grafica de granulometría ensayo 3. | 37 |
| FIG 10. | Máquina de casa grande. | 37 |
| FIG 11. | Carta de plasticidad. | 38 |
| FIG 12. | Grafica contenido de humedad vs número de golpes ensayo 1. | 39 |
| FIG 13. | Grafica contenido de humedad vs número de golpes ensayo 2. | 40 |
| FIG 14. | Grafica contenido de humedad vs número de golpes ensayo 3. | 41 |
| FIG 15. | Martillo de compactación. | 42 |
| FIG 16. | Grafica relación humedad y densidad seca. | 44 |
| FIG 17. | Ensayo de compresión simple ensayo 1. | 44 |
| FIG 18. | Grafica compresión simple ensayo 1. | 46 |
| FIG 19. | Ensayo de compresión simple ensayo 2. | 46 |
| FIG 20. | Grafica compresión simple ensayo 2. | 48 |
| FIG 21. | Ensayo de compresión simple ensayo 3. | 48 |
| FIG 22. | Grafica Compresion simple ensayo 3. | 50 |
| FIG 23. | Ensayo compresión simple 1 suelo + STASOIL + cemento | 50 |
| FIG 24. | Grafica compresion simple ensayo 1 | 52 |
| FIG 25. | Ensayo de compresión simple 2 suelo + STASOIL + cemento. | 52 |
| FIG 26. | Grafica compresion simple ensayo 2. | 54 |
| FIG 27. | Ensayo de compresión simple 3 suelo + STASOIL + cemento. | 54 |
| FIG 28. | Grafica compresion simple ensayo 3 | 56 |
| FIG 29. | Maquina corte directo | 57 |
| FIG 30. | Grafica curva de taylor consolidacion 0.5 kg/cm ² | 58 |
| FIG 31. | Grafica tension vs deformacion 0.5 kg/cm ² | 59 |
| FIG 32. | Grafica curva de taylor consolidacion 1 kg/cm ² | 60 |
| FIG 33. | Grafica tension vs deformacion 1 kg/cm ² | 61 |
| FIG 34. | Grafica curva de taylor consolidacion 2 kg/cm ² | 62 |
| FIG 35. | Grafica tension vs deformacion 2 kg/cm ² | 63 |
| FIG 36. | Grafica envolvente de falla | 64 |
| FIG 37. | Grafica tension vs deformacion 0.5 kg/cm ² + SSC | 65 |
| FIG 38. | Grafica tension vs deformacion 1 kg/cm ² + SSC | 66 |
| FIG 39. | Grafica tension vs deformacion 2 kg/cm ² + SSC | 67 |
| FIG 40. | Grafica envolvente de falla para los 3 puntos de corte | 68 |
| FIG 41. | Grafica esfuerzo vs penetracion 10 golpes ensayo de CBR # 1 | 70 |
| FIG 42. | Grafica esfuerzo vs penetracion 25 golpes ensayo de CBR # 1 | 70 |

| | | |
|---------|---|-----|
| FIG 43. | Grafica esfuerzo vs penetracion correccion 25 golpes ensayo de CBR #1 | 71 |
| FIG 44. | Grafica esfuerzo vs penetracion 56 golpes ensayo de CBR #1 | 71 |
| FIG 45. | Grafica esfuerzo vs penetracion correccion 25 golpes ensayo de CBR #1 | 72 |
| FIG 46. | Grafica indice CBR/Densidad | 73 |
| FIG 47. | Grafica esfuerzo vs penetracion 10 golpes ensayo de CBR #2 | 75 |
| FIG 48. | Grafica esfuerzo vs penetracion correccion 10 golpes ensayo de CBR #2 | 75 |
| FIG 49. | Grafica esfuerzo vs penetracion 25 golpes ensayo de CBR #2 | 76 |
| FIG 50. | Grafica esfuerzo vs penetracion correccion 25 golpes ensayo de CBR #2 | 76 |
| FIG 51. | Grafica esfuerzo vs penetracion 56 golpes ensayo de CBR #2 | 77 |
| FIG 52. | Grafica esfuerzo vs penetracion correccion 56 golpes ensayo de CBR #2 | 77 |
| FIG 53. | Grafica indice CBR/Densidad | 78 |
| FIG 54. | Grafica esfuerzo vs penetracion 10 golpes ensayo de CBR #3 | 80 |
| FIG 55. | Grafica esfuerzo vs penetracion correccion 10 golpes ensayo de CBR #3 | 80 |
| FIG 56. | Grafica esfuerzo vs penetracion 25 golpes ensayo de CBR #3 | 81 |
| FIG 57. | Grafica esfuerzo vs penetracion correccion 25 golpes ensayo de CBR #3 | 81 |
| FIG 58. | Grafica esfuerzo vs penetracion 56 golpes ensayo de CBR #3 | 82 |
| FIG 59. | Grafica esfuerzo vs penetracion correccion 56 golpes ensayo de CBR #3 | 82 |
| FIG 60. | Grafica indice CBR/Densidad | 83 |
| FIG 61. | Grafica esfuerzo vs penetracion 10 golpes ensayo #1 de CBR, SSC | 85 |
| FIG 62. | Grafica esfuerzo vs penetracion 25 golpes ensayo #1 de CBR, SSC | 85 |
| FIG 63. | Grafica esfuerzo vs penetracion 56 golpes ensayo #1 de CBR, SSC | 86 |
| FIG 64. | Grafica esfuerzo vs penetracion correccion 56 golpes ensayo #1 de CBR, Suelo +Stasoil +Cemento | 86 |
| FIG 65. | Grafica indice CBR/Densidad | 87 |
| FIG 66. | Grafica esfuerzo vs penetracion 10 golpes ensayo #2 de CBR, SSC | 89 |
| FIG 67. | Grafica esfuerzo vs penetracion 25 golpes ensayo #2 de CBR, SSC | 89 |
| FIG 68. | Grafica esfuerzo vs penetracion 56 golpes ensayo #2 de CBR, SSC | 90 |
| FIG 69. | Grafica esfuerzo vs penetracion correccion 56 golpes ensayo #1 de CBR, Suelo +Stasoil +Cemento | 90 |
| FIG 70. | Grafica indice CBR/Densidad | 91 |
| FIG 71. | Grafica esfuerzo vs penetracion 10 golpes ensayo #3 de CBR, SSC | 93 |
| FIG 72. | Grafica esfuerzo vs penetracion 25 golpes ensayo #3 de CBR, SSC | 93 |
| FIG 73. | Grafica esfuerzo vs penetracion 56 golpes ensayo #3 de CBR, SSC | 94 |
| FIG 74. | Grafica esfuerzo vs penetracion correccion 56 golpes ensayo #1 de CBR, Suelo +Stasoil +Cemento | 94 |
| FIG 75. | Grafica indice CBR/Densidad | 95 |
| FIG 76. | Grafica promedio compresion simple suelo inalterado | 97 |
| FIG 77. | Grafica promedio compresion simple suelo + STASOIL +cemento | 98 |
| FIG 78. | Grafica de envolvente de falla promedio suelo (inalterado y alterado) | 100 |
| FIG 79. | Grafica promedio indice CBR/ Densidad suelo inalterado | 102 |
| FIG 80. | Grafica promedio indice CBR/ Densidad suelo +STASOIL +cemento | 102 |

LISTA DE TABLAS

| | | |
|-----------|--|-----|
| TABLA 1. | Los valores de carga unitaria. | 21 |
| TABLA 2. | Contenido de humedad | 30 |
| TABLA 3. | Datos granulometria ensayo 1 | 32 |
| TABLA 4. | Datos granulometria ensayo 2 | 34 |
| TABLA 5. | Datos granulometria ensayo 3 | 36 |
| TABLA 6. | Datos limite liquido y limite plástico ensayo 1 | 38 |
| TABLA 7. | Datos limite liquido y limite plástico ensayo 2 | 39 |
| TABLA 8. | Datos limite liquido y limite plástico ensayo 3 | 40 |
| TABLA 9. | Promedio de resultados de ensayo de compactación | 43 |
| TABLA 10. | Ensayo de compresión simple ensayo 1 | 45 |
| TABLA 11. | Ensayo de compresión simple ensayo 2 | 47 |
| TABLA 12. | Ensayo de compresión simple ensayo 3 | 49 |
| TABLA 13. | Ensayo de compresión simple ensayo 1 + SSC | 51 |
| TABLA 14. | Ensayo de compresión simple ensayo 2 + SSC | 53 |
| TABLA 15. | Ensayo de compresión simple ensayo 3 + SSC | 55 |
| TABLA 16. | Datos de consolidacion 0.5 kg/cm ² | 58 |
| TABLA 17. | Ensayo corte directo 0.5 kg/cm ² | 59 |
| TABLA 18. | Datos de consolidacion 1 kg/cm ² | 60 |
| TABLA 19. | Ensayo corte directo 1 kg/cm ² | 61 |
| TABLA 20. | Datos de consolidacion 1 kg/cm ² | 62 |
| TABLA 21. | Ensayo corte directo 1 kg/cm ² | 63 |
| TABLA 22. | Datos de los 3 puntos de corte | 64 |
| TABLA 23. | Ensayo de corte directo SSC 0.5 kg/cm ² | 65 |
| TABLA 24. | Ensayo de corte directo SSC 1 kg/cm ² | 66 |
| TABLA 25. | Ensayo de corte directo SSC 2 kg/cm ² | 67 |
| TABLA 26. | Datos de los 3 puntos de corte SSC | 68 |
| TABLA 27. | Datos ensayo CBR # 1 | 69 |
| TABLA 28. | Datos para el calculo de indice CBR # 1 | 72 |
| TABLA 29. | Datos ensayo CBR # 2 | 74 |
| TABLA 30. | Datos para el calculo de indice CBR # 2 | 78 |
| TABLA 31. | Datos ensayo CBR # 3 | 79 |
| TABLA 32. | Datos para el calculo de indice CBR # 3 | 83 |
| TABLA 33. | Datos ensayo CBR SSC # 1 | 84 |
| TABLA 34. | Datos para el calculo de indice CBR SSC # 1 | 87 |
| TABLA 35. | Datos ensayo CBR SSC # 2 | 88 |
| TABLA 36. | Datos para el calculo de indice CBR SSC # 2 | 91 |
| TABLA 37. | Datos ensayo CBR SSC # 3 | 92 |
| TABLA 38. | Datos para el calculo de indice CBR SSC # 3 | 95 |
| TABLA 39. | Promedio qu (max) y Deformacion unitaria | 96 |
| TABLA 40. | Promedio de resultados corte directo suelo inalterado | 99 |
| TABLA 41. | Promedio de resultados corte directo SSC | 99 |
| TABLA 42. | Promedio de resultados CBR suelo (inalterado y alterado) | 101 |
| TABLA 43. | Resultado % CBR suelo (inalterado y alterado) | 103 |

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ANALISIS Y ESTABILIZACION DE SUELOS CON SISTEMAS TRANSPORTADOS DE COLOIDES (STC)

AUTOR(ES): Yefferson Alexander Ortega Vargas-Miguel Ángel Ortiz Manchego

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Ing. Julián André Galvis

RESUMEN

Durante el desarrollo de este proyecto se realizó el análisis de un suelo en condición inalterada, y sus resultados se compararon con los de un suelo con un sistema coloidal STC, el cual es un estabilizante (STASOIL) producto desarrollado con sistemas coloidales y nanotecnología, basados en la norma INVIAS 2013 se realizaron ensayos de corte directo (consolidado drenado, CD), CBR y compresión simple in confinada, para cada uno de los dos casos. Para la realización de este proyecto se siguieron unas actividades tales como; la caracterización del material utilizado, el cual fue tomado de los terrenos de la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga, como también, el manejo óptimo en la aplicación 200 gramos por metro cubico de sistema coloidal, con adicciones de 50 kilogramos de cemento por metro cubico de suelo, para aumentar los porcentajes en un 50% (para corte directo y CBR) y más del 100% en compresión simple.

PALABRAS CLAVES:

SISTEMA COLOIDAL – ESTABILIZANTE- SUELO-SUB RASANTE

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: ANALYSIS AND TRANSPORTED SOIL STABILIZATION SYSTEMS COLLOIDS

AUTHOR(S): Yefferson Alexander Ortega Vargas-Miguel Ángel Ortiz Manchego

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Ing. Julián André Galvis

ABSTRACT

During the development of this Project it was realized an unaltered field analysis and its results were compared with a field a colloidal system CST, which is a stabilizer (STATOIL) Product developed with colloidal and nanotechnology system, based on INVIAS 2013 policy. Direct cuts experiments were made (consolidate drain CD) CBR and simple unconfined compression for each one of the cases. For the realization of this project some activities were followed such as the characterization of the material used which was taken from Universidad Pontificia Bolivariana fields, located in Bucaramanga, as the optimum application of 200 g of colloidal system/m³. With additions of 50 Kg of cement/m³ of soil in order to increase the percentage to 50 % (direct cut and CBR) an more than 100% in simple compression.

KEYWORDS:

COLLOIDAL SYSTEM – STABILIZATION – FLOOR- SUBGRADE

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Uno de los problemas más frecuentes que se presentan en la estabilización y/o mejoramiento de suelos (sometidos a esfuerzos cortantes en estructuras como pavimentos y/o cimentaciones), es la mala disposición del material de sub-rasante el cual en muchas ocasiones no posee las propiedades mecánicas correspondientes, esto ocasiona un sobre costo en el presupuesto de un proyecto de obra civil, por lo cual una solución efectiva es el remover y remplazar el suelo o adicionar materiales para el mejoramiento de la sub-rasante, y que estas soluciones cumplan la normatividad establecida, respecto sea al caso.

Para esto se plantea en este trabajo de investigación la adición de sistemas transportados de coloides (STC) o más conocido para la construcción STASOIL (estabilizante químico que actúa al ser adicionado a un suelo), que permitirá mejorar las propiedades de soporte, resistencia a la compresión y a los esfuerzos cortantes para un determinado tipo de suelo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General.

- Comprobar la efectividad del Sistema Transportado de Coloides (S.T.C) en la estabilización de un suelo limoso de ligera plasticidad con baja resistencia a los esfuerzos cortantes.

2.2. Objetivos Específicos.

- Realizar la determinación y caracterización del material a trabajar por medio de ensayos de laboratorio, empleando normatividad INVIAS-2013.
- Determinar mediante el ensayo de compresión simple y corte directo, esfuerzo último y resistencia al corte del suelo caracterizado.
- Determinar el valor de CBR al material caracterizado, empleando normatividad INVIAS-2013.
- Determinar mediante el ensayo de compresión simple y corte directo, esfuerzo último y resistencia al corte del suelo caracterizado con porcentajes de Sistemas Transportados de Coloides (STC).
- Determinar el valor de CBR del material caracterizado con la aplicación de Sistemas Transportados de Coloides (STC), mediante normatividad INVIAS-2013.
- Comparar los resultados de CBR y compresión simple de un suelo caracterizado y un suelo con Sistemas Transportados de Coloides.
- Concluir y analizar acerca de su resultado en la utilización de los S.T.C para la estabilización de sub-rasantes, fundiciones o cimentaciones.

3. JUSTIFICACIÓN

Es de gran importancia realizar investigaciones que permitan contribuir a nuevas alternativas para el mejoramiento de suelos naturales, en relación a costo-beneficio, que ayuden a la estabilización de suelos. Es por esto que se lleva a cabo la investigación de Sistemas Transportados de Coloides (S.T.C) para un suelo determinado.

Es importante la investigación, para la búsqueda de nuevas maneras de estabilizar suelos que tengan características bajas en calidad en términos de resistencia, por este motivo se ve la necesidad de analizar e investigar soluciones que permitan el mejoramiento de la calidad del suelo buscando la innovación y el manejo de otros recursos que pueden beneficiar de manera económica a personas que exploren nuevas alternativas de soluciones.

Por medio de esta investigación se busca estudiar una alternativa diferente en el tratamiento de suelos naturales para un suelo determinado, mediante el uso de Sistemas Transportados de Coloides (S.T.C), que represente un aporte favorable en el ámbito investigativo de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), se espera que por medio de este trabajo de grado se pueda ofrecer soluciones eficientes y eficaces, para evaluar la factibilidad de ser empleado este método de estabilización.

4. ALCANCE

La finalidad de este trabajo de grado es de implementar un sistema alternativo de estabilización para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos limosos de baja plasticidad tomándolos de las cercanías de la Universidad Pontificia Bolivariana y proporcionándole Stasoil como estabilizante, para esto se caracteriza el suelo, se determina su humedad, plasticidad, granulometría, también se realizan ensayos de CBR, compresión simple y corte directo a diferentes tipos de muestra de ese suelo determinado, se realizara el mismo ensayo de CBR, compresión simple y corte directo para el mismo suelo con un campo muestral de 3 ensayos para cada laboratorio y con porcentajes establecidos de sistemas transportados de coloides (STC) y más específico STASOIL, esto para comparar entre los resultados de un suelo alterado con porcentajes de coloides contra un suelo inalterado y así establecer los porcentajes de aumento de la resistencia al corte y porcentaje de mejoramiento del suelo con este tipo de estabilizante.

5. MARCO TEORICO

5.1. Introducción de un pavimento.

La función de un pavimento es la de proveer una superficie de rodamiento adecuada al tránsito y distribuir las cargas aplicadas por el mismo, sin que se sobrepasen las tensiones admisibles de las distintas capas del pavimento y de los suelos de fundación. Un buen diseño debe cumplir con las condiciones enunciadas precedentemente al menor costo inicial y con un mínimo de conservación durante la vida útil del pavimento. El objetivo del diseño de un pavimento es el de calcular el mínimo espesor necesario de cada una de las capas para que cumplan con las exigencias anteriores, teniendo en cuenta los valores económicos de las mismas para lograr la solución técnico-económica más conveniente. [1]

5.1.1. Componentes estructurales del pavimento.

Los pavimentos están formados por capas de resistencia decreciente con la profundidad. Generalmente se componen de: carpeta de rodamiento (que puede ser de asfáltica o de hormigón) base y sub base apoyado todo este conjunto sobre la sub-rasante. En algunos casos pueden faltar algunas de estas capas.

La función de cada una de las capas del pavimento es doble: [1]

- Distribuir las tensiones provenientes de la parte superior reduciéndolas hasta valores admisibles para las capas inferiores.
- Ser suficientemente resistentes por sí mismas para soportar, sin deformaciones permanentes, las cargas a las cuales están sujetas.

5.1.2. Fundamentos del diseño de pavimentos.

Para el cálculo de los espesores de un pavimento, como para el dimensionamiento de todas las estructuras de ingeniería, es necesario hacer el análisis de la carga que va a actuar, conocer la

resistencia de los materiales de que se dispone y estudiar la fundación sobre la que se va a apoyar el conjunto.

El diseño de pavimentos comprende básicamente dos aspectos: [1]

- El diseño de las mezclas y/o materiales a emplear en el pavimento, y
- El diseño estructural o dimensionamiento de los componentes del pavimento.

Ambos aspectos si bien son diferentes, deben llevarse en forma conjunta. En efecto, en el caso del dimensionamiento de un pavimento el cálculo de espesores dependerá de la resistencia de las diversas capas estructurales, la que se relaciona directamente con las características de los materiales y de las mezclas a emplear en la construcción de las mismas. Asimismo, algunas de estas propiedades condicionan los procesos constructivos, como por ejemplo, la compactación.

De allí que el proyecto de un pavimento no se limita a indicar los espesores de las diversas capas que constituyen la estructura adoptada, sino que se complementa con las especificaciones técnicas en las que se definen los requerimientos de las mezclas a emplear, y la manera en que se han de llevar a cabo los procedimientos constructivos para satisfacer dichos requerimientos. [1]

5.1.3. Factores que intervienen en el cálculo de espesores.

Los pavimentos son diseñados para obtener en forma económica un buen comportamiento durante una larga vida de servicio. Diversos factores deben analizarse para obtener el diseño del más bajo costo anual. Estos factores son: [1]

- Tránsito considerando las cargas por eje o rueda y su frecuencia
- Resistencia de los materiales
- Subrasante
- Drenaje
- Acción de las heladas

- Vida útil para el diseño.

5.2. Introducción de cimentaciones

Al comenzar con los trabajos en una obra se inician los movimientos de tierra para dar lugar a la construcción de los cimientos que sostendrán el edificio. Para ello se realiza el replanteo y se ejecutan los cimientos de acuerdo al cálculo estructural y al proyecto elaborado, considerando todas las variables que inciden, como por ejemplo las cargas propias de la construcción, el tipo de terreno, etc. Por lo general, las tensiones admisibles del terreno son inferiores a las de los materiales de la estructura, de manera que los cimientos deben transmitir las acciones del edificio dentro de ciertos límites para que la estructura permanezca estable sin alteraciones.

La construcción de los cimientos debe contemplar los siguientes principios generales: [3]

- Tener conocimiento a fondo del terreno.
- Efectuar el cálculo de cimientos por exceso, aplicando los coeficientes de seguridad necesarios.
- Ubicar la base de cimentación protegida de las heladas.
- Poner atención en las capas freáticas.
- Tomar todos los recaudos ante terrenos sin consolidar.

Para saber qué tipo de cimentación conviene en el proyecto que se esté elaborando, deberá considerar dos puntos importantes: [3]

- Características del terreno.
- Profundidad del estrato resistente.
- Nivel freático y sus variaciones.
- Capacidad de asentamiento del estrato de apoyo.
- Cota de socavaciones debidas a corrientes subterráneas.

- Humedad y heladicidad en capas superficiales.
- Características de la Estructura

5.2.1. Sub-rasante.

El estudio de la fundación debe realizarse como en el caso de capa de rodamiento, base y subbase: en las condiciones más críticas de servicio.

Generalmente los procedimientos y ensayos que se utilizan para el estudio de la subrasante son los mismos que se utilizan para los materiales de subbase y base cuando no tienen cimentación.

El punto fundamental es conocer el grado de compactación y porcentaje de humedad que va a tener en obra y hacer los ensayos en estas condiciones.

Una buena densificación de la subrasante es fundamental para lograr un buen comportamiento de toda la estructura, evitando así el posterior asentamiento por consolidación. [2]

5.2.2. Caracterización de un suelo.

Con el objeto de establecer las propiedades físicas de cada suelo muestreado y estimar su comportamiento bajo diversas condiciones, es necesario efectuar varias pruebas. A continuación, se indica las pruebas más aplicables en la pavimentación de carreteras. [2]

5.2.2.1. Determinación del contenido de humedad.

Determina la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso seco.

El conocimiento de la humedad natural de un suelo no solo permite definir a priori el tratamiento a darle, durante la construcción, sino que también permite estimar su posible comportamiento, como subrasante, pues, si el contenido natural de agua de un suelo está próximo al límite líquido es casi seguro que se está tratando con un suelo muy sensitivo y si, por el contrario, el contenido

de agua es cercano al límite plástico, puede anticiparse que el suelo presentara un buen comportamiento. [2]

5.2.2.2 Análisis granulométrico.

Determina cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de partículas del suelo.

5.2.2.3 Determinación del límite plástico de los suelos.

Se define como la mínima cantidad de humedad con la cual el suelo se vuelve a la condición de plasticidad. En este estado, el suelo puede ser deformado rápidamente o moldeado sin recuperación elástica, cambio de volumen, agrietamiento o desmoronamiento.

Para contenido de humedades mayores que el límite plástico se presenta una caída muy pronunciada en la estabilidad del suelo. [2]

5.2.2.4 Determinación del límite líquido de los suelos.

Condición en la que la resistencia al corte del suelo es tan baja que un ligero esfuerzo la hace fluir. [2]

5.2.3. Determinación de la resistencia de los suelos.

Es importante comprender el comportamiento de los suelos sometidos a cargas, ya que es en ellos o sobre ellos que se van a fundar las estructuras, ya sean puentes, edificios o carreteras, que requieren de una base firme, o más aún que pueden aprovechar las resistencias del suelo en beneficio de su propia capacidad y estabilidad, siendo el estudio y la experimentación las herramientas para conseguirlo, y finalmente poder predecir, con una cierta aproximación, el comportamiento ante las cargas de estas estructuras. [2]

5.2.3.1. Ensayo de CBR (Relación Californiana de Soporte).

El índice de California (CBR) es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas. Se usa en el diseño de

pavimentos flexibles. El CBR se expresa en porcentaje como, la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo, a la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra tipo de piedra partida.

Deberá tenerse en cuenta que todos los suelos de subrasante, cohesivos o no, son susceptibles de consolidarse bajo la acción de las cargas de tránsito que serán sometidos cuando trabajen como parte de una obra vial. El grado de consolidación y la magnitud de la corrección aumentan rápidamente con la frecuencia y magnitud de las cargas circulantes del tránsito. [7]

5.2.3.2. Ensayo a compresión simple.

Permite obtener un valor de carga última del suelo, se relaciona con la resistencia al corte y entrega un valor de carga que puede utilizarse en proyectos que no requieran de un valor más preciso, ya que entrega un resultado conservador. Este ensayo puede definirse en teoría como un caso particular del ensayo triaxial.

Resistencia a la compresión inconfiada, es la carga por unidad de área a la cual una probeta de suelo, cilíndrica o prismática, falla en el ensayo de compresión simple. [4]

5.2.3.3. Ensayo de corte directo.

Este método de prueba es desarrollado para la determinación de la resistencia al corte de un suelo, se realiza mediante la deformación de un espécimen en un rango de deformación controlada. Consiste en hacer deslizar una porción de suelo, respecto a otra a lo largo de un plano de falla predeterminado, mediante la acción de una fuerza de corte horizontal incrementada, mientras se aplica una carga normal al plano del movimiento. [5]

5.3. Antecedentes California Bearing Ratio.

El ensayo CBR usado por primera vez en el departamento de autopistas del estado de California por O.J. peter ingeniero del departamento. Método desarrollado en los años 20 por la división de carreteras del estado de california (EE.UU.)

Para la evaluación de suelos, fue adoptado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los (EE.UU.) para el diseño de campos aéreos a principios de los cuarenta. Desde ese momento tanto Europa como en américa, el método se ha generalizado y es una forma de clasificación de un suelo para ser utilizado como sub-rasante o material de base en la construcción de carreteras. [6]

5.4. Definición CBR (California Bearing Ratio).

El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1” ó 0.2” de penetración, expresada en por ciento en su respectivo valor estándar. También se dice que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado, sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo.

Evalúa la calidad de un material de suelo con base en su resistencia, medida a través de un ensayo de placa a escala. [7]

CBR significa en español relación de soporte California, por las siglas en inglés de «California Bearing Ratio», aunque en países como México se conoce también este ensayo por las siglas VRS, de Valor Relativo del Soporte.

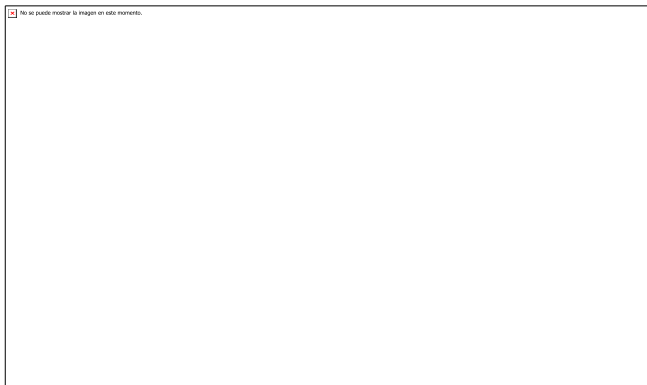


Fig.1 Definición de CBR – RAMCODES

Por cada espécimen de suelo se calculan dos valores de CBR, uno a 0.1” de penetración, y el otro a 0.2” de penetración. ASTM dice que el que se reporta es el de 0.1” mientras este sea menor que el de 0.2”. En el caso en el que el valor de CBR para 0.1” fuera mayor que el de 0.2” habría que repetir el ensayo para ese espécimen. [7]

5.5. DEFINICION DE NUMERO CBR

El número CBR (o simplemente CBR), se obtiene de la relación de la carga unitaria (lbs/pulg².) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración (19.4 cm²) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón (lbs/pulg².) requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. [7]

Tabla 1. *Los valores de carga unitaria.*

| Penetración | | Carga Unitaria Patrón | | |
|-------------|---------|-----------------------|-------------------|------|
| mm | pulgada | Mpa | K/cm ² | Psi |
| 2.54 | 0.1 | 6.90 | 70.00 | 1000 |
| 5.08 | 0.2 | 10.30 | 105.00 | 1500 |
| 7.62 | 0.3 | 13.10 | 133.00 | 1900 |
| 10.16 | 0.4 | 15.80 | 162.00 | 2300 |
| 12.7 | 0.5 | 17.90 | 183.00 | 2600 |

Fuente: CORRELACIÓN P.D.C. CON C.B.R. PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE SUBA – UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para un suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar o modificada del experimento.

La expresión que define al CBR, es la siguiente: [8]

$$CBR = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patron}} \times 100$$

De la ecuación se puede ver que el número CBR, es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica el símbolo de (%) se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero.

- El método CBR comprende los 3 ensayos siguientes: [10]
 - Determinación de la densidad y humedad.
 - Determinación de las propiedades expansivas del material.
 - Determinación de la resistencia a la penetración.

El comportamiento de los suelos varía de acuerdo a su grado de alteración (inalterado y alterado) y a su granulometría y características físicas (granulares, finos, poco plásticos).

- El método a seguir para determinar el CBR será diferente en cada caso.

A. Determinación del CBR de suelos perturbados y remoldados: [9]

1. Gravas y arenas sin cohesión.
2. Suelos cohesivos, poco plásticos y poco o nada expansivo.
3. Suelos cohesivos y expansivos.

B. Determinación del CBR de suelos inalterados.

C. Determinación del CBR in situ.

5.6. Sistemas transportados de coloides (S.T.C).

El Sistema de Transporte Coloidal (STC), corresponde a la marca de un Sistema Coloidal diseñado, formulado y desarrollado hace más de 20 años por KEMTEK reconocido y clasificado por la Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos como GRS (Generlly Recognized As Safe), para ser utilizado como un estabilizador de diferentes tipos de suelos nativos o sus diferentes clases de mezclas, en las varias aplicaciones de materiales nativos en ingeniería civil para la construcción de vías y de vivienda.

Kemtek desde hace 25 años ha venido aplicando sistemas coloidales en el sector agrícola para la racionalización en la aplicación de productos agroquímicos usados para el control de plagas y maleza, así como de los fertilizantes utilizados para la nutrición vegetal con diferentes tipos de suelos nativos, que ha permitido comercializarla en más de 30 países en el sector agrícola, entre otros sectores industriales. [6]

5.6.1. S.T.C utilizado en la construcción.

El sector de alto impacto es el de la construcción con el producto STASOIL®; el cual es utilizado en la construcción de carreteras, en estabilización de bases y sub-rasantes, permitiendo reducir espesores de diseño de capas a tratar en más de un 50% comparado con es-pesores a tratar en sistemas tradicionales de diseño de vías. Se reduce drásticamente espesor en diseño de capas de pavimento, ya sea, asfalto o concreto. [12]

5.6.2. ¿Qué es “STASOIL®”?

“STASOIL®” es un estabilizante químico que actúa coloidalmente al ser adicionado al suelo a estabilizarse. Puesto que los coloides por su misma naturaleza, se difunden a través de otros coloides, la estabilización de arcillas y limos por estos medios es eficiente. Así es como, en arcillas o en suelos con una proporción significativa de arcillas, se difunden los coloides que se

han agregado al suelo.[11]

Al mezclar suelo natural con “STASOIL®” y con otro coloide como es el CEMENTO, se logra que haya una migración de los coloides, de una manera tal, que modifican el suelo de acuerdo con las propiedades y cantidades de los coloides agregados y de las características del suelo natural. [11]

5.6.3. Usos y aplicaciones.

- Construcción de cimentaciones empleando suelos del lugar y otros elementos.
- Construcción de bases de pavimentos de suelo cemento + STASOIL®.
- Neutralización de arcillas activas.
- Recubrimientos de taludes para evitar la erosión, con zonas impermeables. Y zonas permeables.
- Aumento de la efectividad del cemento, por ejemplo, en la construcción de prefabricados.
- Construcción de muros en viviendas a partir de los suelos naturales del lugar.
- Estabilización de taludes submarinos
- Empleo con máxima eficiencia de sistemas de “Jet Grouting” y de Rellenos Fluidos.
- Modificación sectorial de suelos mediante perforaciones llenas, por ejemplo, de cemento y STASOIL® para conformar sistemas de contención, “soil nailing”, etc., con las economías resultantes de la migración más allá de las paredes de las perforaciones, debido a los sistemas de transporte coloidal. Mediante tales sistemas se logra modificar el suelo de tal manera que los resultados prácticos corresponden, por ejemplo, a pilotes de mayor diámetro a los construidos. [11]

5.6.4. Ventajas del uso de STASOIL.

Ventajas respecto a los sistemas tradicionales: [11]

- Es posible desarrollar o lograr mezclas de cemento con diferentes tipos de suelo: limos orgánicos, arcillas, arenas, gravas, desechos industriales y en general con cualquier tipo de suelo independientemente de su naturaleza. El pH no representa ningún obstáculo, con STASOIL® se pueden preparar dispersiones estables a diferentes valores de pH, en medios ácidos o alcalinos.
- No es necesario transportar material seleccionado desde las canteras hasta el sitio de la obra, ni tampoco transportar el suelo nativo hasta los lugares disponibles o botaderos.
- Tampoco es necesario el doble acarreo de material con lo que ello implica en: costos, demoras de ejecución, contaminación, congestión vehicular.
- Los espesores de diseño se pueden reducir hasta en un 45% con respecto a los sistemas tradicionales.
- Por lo ágil de los procedimientos se reducen significativamente los tiempos de ejecución de las obras.
- Se pueden obtener valores de resistencia a la compresión inconfiada en el rango de 15 a 50 Kg/cm² a los siete días, con importante mejora a 14, 21 y 28 días.

6. METODOLOGIA

Se presento la metodología llevada para el desarrollo de este trabajo de grado con ensayos de laboratorio del suelo inalterado y la adiccion de, 200 gramos de sistema coloidal y 50 kg de cemento por metro cubico de suelo inalterado.

6.1. Recopilación de bibliografía.

Se realizo recolección de información mediante libros, trabajos de grado, seminarios, simposios y conceptos de buscadores electrónicos para fundamentar, soportar y argumentar el proceso investigativo del presente proyecto.

6.2. Búsqueda de material.

Se tomó un material cercano en el interior del campus de la Universidad Pontificia Bolivariana el cual tenga unas características de suelo limoso de baja plasticidad que permita llevar acabo los ensayos pertinentes.

6.3. Ensayos de laboratorio.

Se realizarán los ensayos necesarios para caracterizar el suelo. En este caso son necesarios:

Tres (3) ensayo de granulometría para determinar en forma cuantitativa la distribución de las partículas del suelo con respecto a su tamaño.

Tres (3) ensayos de límite líquido para determinar la plasticidad de los suelos, en suelos que pasan el tamiz N° 200.

Tres (3) ensayos de plasticidad para determinar la clasificación del suelo desde el punto de vista de su plasticidad, es decir, su comportamiento funcional determinado por la cantidad de arcilla que contiene.

Tres (3) ensayos de humedad para determinar la cantidad de agua que posee una muestra de suelo, con respecto al peso seco de la muestra.

Se realizaron los ensayos a continuación mencionados para el análisis y estabilización de suelos inalterado:

Tres (3) ensayos de compresión simple o uniaxial para determinar la resistencia o esfuerzo último de un suelo cohesivo a la compresión no confinada.

Tres (3) ensayos de CBR para un suelo saturado, para determinar la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

Tres (3) ensayos de corte directo consolidado drenado para determinar de la resistencia al corte de una muestra de suelo.

- Para la realización de estos ensayos se tiene en cuenta que por metro cúbico a ensayar se adicionará 200 gramos de STASOIL y 50 kilogramos de cemento para suelo con aditivo.

Se realizaron los ensayos a continuación mencionados para el análisis y estabilización de suelos con sistemas transportados de coloides y cemento:

Tres (3) ensayos de compresión simple o uniaxial para determinar la resistencia o esfuerzo último de un suelo cohesivo a la compresión no confinada.

Tres (3) ensayos de CBR para un suelo saturado, para determinar la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

Tres (3) ensayos de corte directo para determinar de la resistencia al corte de una muestra de suelo.

6.4. Concluir y argumentar los resultados obtenidos de la investigación.

Se realizó el informe final argumentando y mostrando de forma clara y concisa los resultados que arrojen la comparación de los datos obtenidos en suelo caracterizado alterado y sin alterar

7.RESULTADOS Y CALCULOS DE ENSAYOS DEL LABORATORIO

A continuación, se muestra el desarrollo diferentes tipos de ensayos que se realizaron en base a un suelo tomado de los terrenos de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga más específicamente uno de los taludes donde se presenta un suelo expuesto y sin ninguna materia orgánica presente, véase en la figura 2.

Figura # 2 talud expuesto.



Fuente: autores del proyecto.

Talud de los cuales se tomaron el suelo debido a que a su simple vista presenta porcentajes de arenas y finos superiores a las gravas, lo cual es lo que se proyectó analizar en este trabajo de grado. Además este tipo de suelo representa el tipo de suelo más común en Bucaramanga, y se emplea en la ejecución de todo tipo de proyectos como suelo de apoyo o suelo de fundación.

Dichos ensayos que se mencionaran son basados en la norma INVIAS 2013, documento normativo y estándar de especificaciones técnicas.

También se tomó muy en cuenta que solo se hizo una sola recolección de muestras en el sitio mencionado anteriormente debido que el tomar varias muestras en fechas diferentes puede afectar los datos de humedad al momento de realizar los ensayos, por lo cual se recolectó una

muestra bastante representativa del suelo y se tuvo una seria atención al momento de guardar muy bien el suelo, y no mezclarlo con otros suelos presentes en las bodegas de los laboratorios, por ende se solicitó una bodega solo para el suelo recolectado, véase en la figura 3 y 4.

Figura # 3 y 4 bodega donde se guardó el suelo recolectado



Fuente: autores del proyecto

7.1 Ensayos de caracterización

En estos ensayos se detalla como tal, las características del suelo manejado, así como también sus componentes orgánicos:

7.1.1 Ensayo de humedad

La determinación de contenido de humedad es un ensayo rutinario de laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco. Como una definición:

$$W = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad (1)$$

En donde se realizó tres tomas de muestras representativas del suelo y se analizó cada una de ellas para así determinar un promedio del contenido de humedad del suelo, véase figura 6.


Figura # 5 Taras de humedad



Fuente: autores del proyecto

Los resultados de este ensayo a continuación se presentan en la tabla 2

Tabla # 2 Contenido de humedad

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | |
|--|--|--|-------|-------|-------|
| | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | |
| Ensayo | | INV E-122-13 | | | |
| CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD | | | | | |
| Tara Número | | Unidades | 1 | 2 | 3 |
| Peso Tara + Muestra Húmeda | | g | 74,20 | 58,40 | 62,40 |
| Peso Tara + Muestra Seca | | g | 71,70 | 56,30 | 60,60 |
| Peso de la Tara | | g | 27,10 | 21,40 | 21,10 |
| Peso de la Muestra Seca | | g | 44,60 | 34,90 | 39,50 |
| Peso del Agua | | g | 2,50 | 2,10 | 1,80 |
| Contenido de Humedad | | % | 5,61 | 6,02 | 4,56 |
| Promedio | | 5,39 | | | |

Fuente: autores del proyecto

De la tabla anterior se concluye que el promedio de los tres contenidos de humedad, obtenidos mediante la ecuación (1), es 5.39 %, un porcentaje bastante bueno y estándar para tipos de suelos similares al que se está analizando.

7.1.2 Ensayo de granulometría.

En este ensayo se dio el paso para la caracterización estándar del suelo trabajado completando así una etapa en la metodología que se presenta en páginas anteriores, realizado con los tamices que exige la norma INVIAS y cumpliendo con los 3 ensayos establecidos en el anteproyecto, véase en la figura 7.


Figura # 6 Tamices de granulometría.



Fuente: autores del proyecto.

Para este ensayo se realizó el lavado del material, a continuación, se introdujo al horno para su respectivo secado y después se procedió a tamizar el material quedado, véase los resultados en la tabla 3, 4 y 5 que se presenta a continuación.

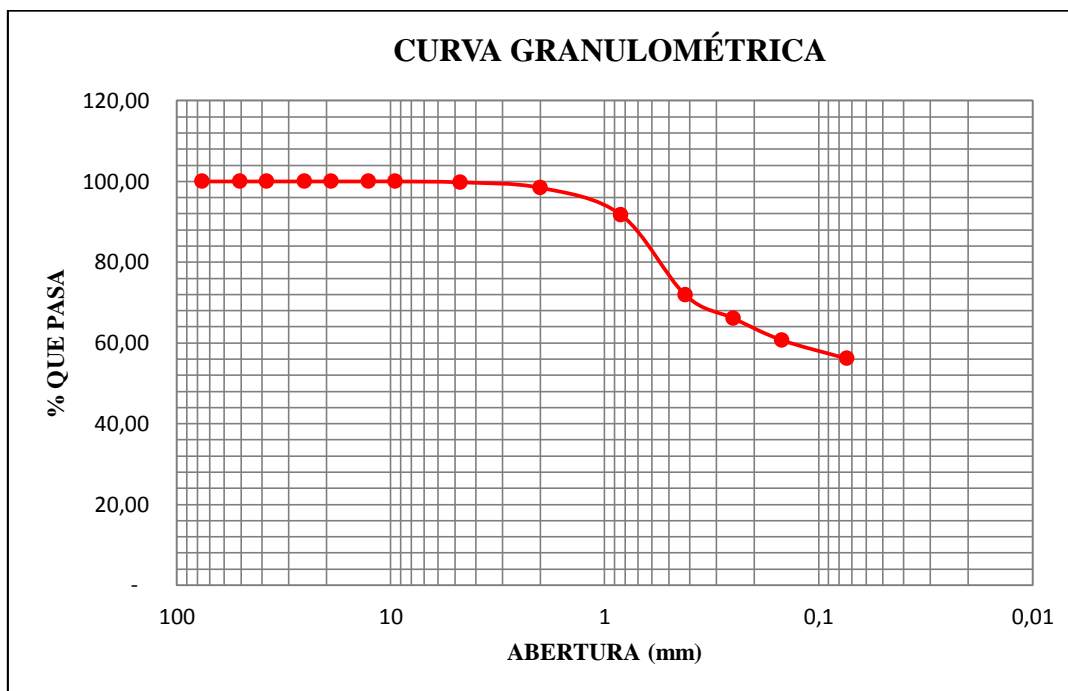
Tabla # 3 Datos granulometría ensayo 1.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | |
|---|---------------|--|-------------|----------|
| | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | |
| PESO SECO MUESTRA SIN LAVAR (g) | | 753,10 | | |
| PESO MUESTRA LAVADA POR TAMIZ N° 200 (g) | | 331,89 | | |
| PESO MUESTRA PERDIDA TRAS LAVADO (g) | | 421,21 | | |
| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO | | |
| | | Retenido | | Pasa (%) |
| | | Parcial (g) | Parcial (%) | |
| 3" | 76,2 | 0,0 | - | 100,00 |
| 2" | 50,8 | 0,0 | - | 100,00 |
| 1 1/2" | 38,10 | 0,0 | - | 100,00 |
| 1" | 25,40 | 0,0 | - | 100,00 |
| 3/4" | 19,05 | 0,0 | - | 100,00 |
| 1/2" | 12,70 | 0,0 | - | 100,00 |
| 3/8" | 9,52 | 0,0 | - | 100,00 |
| N° 4 | 4,75 | 1,64 | 0,22 | 99,78 |
| N° 10 | 2,000 | 10,09 | 1,34 | 98,44 |
| N° 20 | 0,840 | 50,21 | 6,67 | 91,78 |
| N° 40 | 0,420 | 149,79 | 19,89 | 71,89 |
| N° 60 | 0,250 | 43,51 | 5,78 | 66,11 |
| N° 100 | 0,149 | 40,46 | 5,37 | 60,74 |
| N° 200 | 0,074 | 34,54 | 4,59 | 56,15 |
| Fondo | - | 1,07 | 0,14 | 56,0 |
| | | 331,3 | 44,0 | |
| GRAVAS =(100-% PASA 4) | | GRAVAS | 0,22 | |
| ARENAS= 100-(GRAVAS + FINOS) | | ARENAS | 43,63 | |
| FINOS = % PASA TAMIZ 200 | | FINOS | 56,15 | |

Fuente: autores del proyecto.


Con los datos ya obtenidos se procedió a realizar su grafica correspondiente de granulometría

véase a continuación:

Figura # 7 Grafica de granulometría ensayo 1.

Fuente: autores del proyecto.

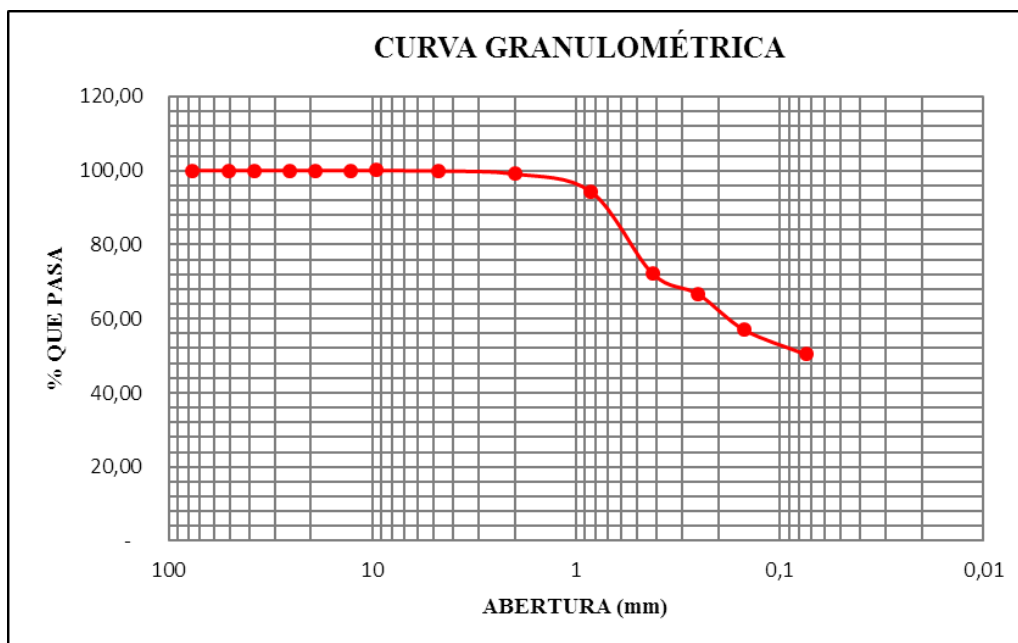
Tabla # 4 Datos granulometría ensayo 2

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | |
|---|---------------|--|-------------|----------|
| | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | |
| PESO SECO MUESTRA SIN LAVAR (g) | | | | 666,84 |
| PESO MUESTRA LAVADA POR TAMIZ N° 200 (g) | | | | 308,24 |
| PESO MUESTRA PERDIDA TRAS LAVADO (g) | | | | 358,60 |
| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO | | |
| | | Retenido | | Pasa (%) |
| | | Parcial (g) | Parcial (%) | |
| 3" | 76,2 | 0,0 | - | 100,00 |
| 2" | 50,8 | 0,0 | - | 100,00 |
| 1 1/2" | 38,10 | 0,0 | - | 100,00 |
| 1" | 25,40 | 0,0 | - | 100,00 |
| 3/4" | 19,05 | 0,0 | - | 100,00 |
| 1/2" | 12,70 | 0,0 | - | 100,00 |
| 3/8" | 9,52 | 0,0 | - | 100,00 |
| N° 4 | 4,75 | 0,77 | 0,12 | 99,88 |
| N° 10 | 2,000 | 5,01 | 0,75 | 99,13 |
| N° 20 | 0,840 | 32,39 | 4,86 | 94,28 |
| N° 40 | 0,420 | 146,72 | 22,00 | 72,27 |
| N° 60 | 0,250 | 37,38 | 5,61 | 66,67 |
| N° 100 | 0,149 | 63,80 | 9,57 | 57,10 |
| N° 200 | 0,074 | 44,50 | 6,67 | 50,43 |
| Fondo | - | 2,28 | 0,34 | 50,1 |
| | | 332,9 | 49,9 | |
| GRAVAS =(100-% PASA 4) | | GRAVAS | 0,12 | |
| ARENAS= 100-(GRAVAS + FINOS) | | ARENAS | 49,46 | |
| FINOS = % PASA TAMIZ 200 | | FINOS | 50,43 | |

Fuente: autores del proyecto.


Con los datos ya obtenidos se procedió a realizar su grafica correspondiente de granulometría

véase a continuación:

Figura # 8 Grafica de granulometría ensayo 2.

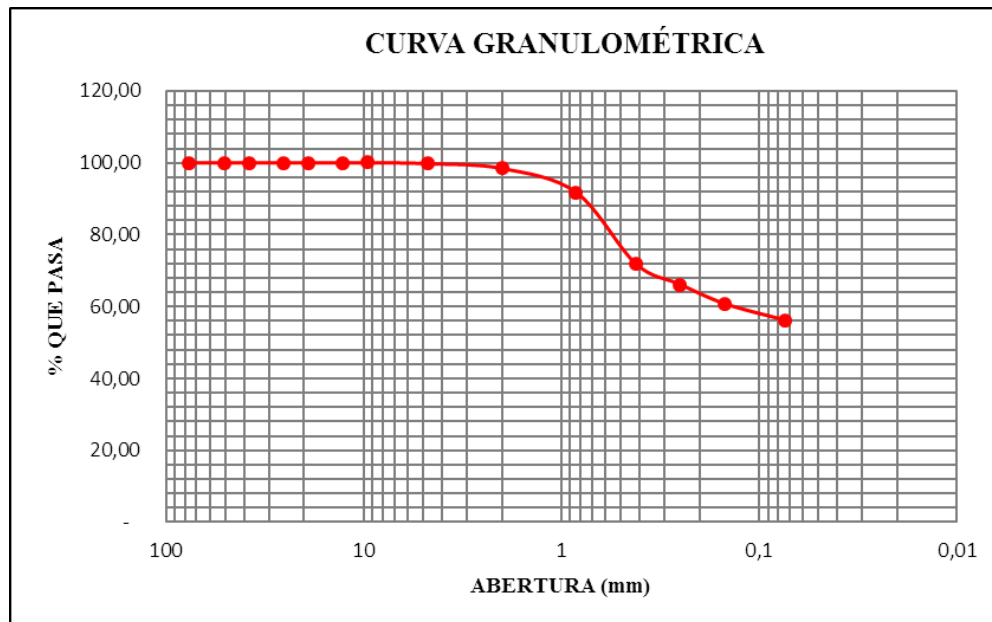
Fuente: autores del proyecto.

Tabla # 5 Datos granulometría ensayo 3

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | |
|---|---------------|--|-------------|----------|
| | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | |
| PESO SECO MUESTRA SIN LAVAR (g) | | | | 753,10 |
| PESO MUESTRA LAVADA POR TAMIZ N° 200 (g) | | | | 331,89 |
| PESO MUESTRA PERDIDA TRAS LAVADO (g) | | | | 421,21 |
| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO | | |
| | | Retenido | | Pasa (%) |
| | | Parcial (g) | Parcial (%) | |
| 3" | 76,2 | 0,0 | - | 100,00 |
| 2" | 50,8 | 0,0 | - | 100,00 |
| 1 1/2" | 38,10 | 0,0 | - | 100,00 |
| 1" | 25,40 | 0,0 | - | 100,00 |
| 3/4" | 19,05 | 0,0 | - | 100,00 |
| 1/2" | 12,70 | 0,0 | - | 100,00 |
| 3/8" | 9,52 | 0,0 | - | 100,00 |
| N° 4 | 4,75 | 1,64 | 0,22 | 99,78 |
| N° 10 | 2,000 | 10,09 | 1,34 | 98,44 |
| N° 20 | 0,840 | 50,21 | 6,67 | 91,78 |
| N° 40 | 0,420 | 149,76 | 19,89 | 71,89 |
| N° 60 | 0,250 | 43,51 | 5,78 | 66,11 |
| N° 100 | 0,149 | 40,46 | 5,37 | 60,74 |
| N° 200 | 0,074 | 34,54 | 4,59 | 56,15 |
| Fondo | - | 1,07 | 0,14 | 56,0 |
| | | 331,3 | 44,0 | |
| GRAVAS =(100-% PASA 4) | | GRAVAS | 0,22 | |
| ARENAS= 100-(GRAVAS + FINOS) | | ARENAS | 43,63 | |
| FINOS = % PASA TAMIZ 200 | | FINOS | 56,15 | |

Fuente: autores del proyecto

Figura # 9 Grafica de granulometría ensayo 3.



Fuente: autores del proyecto.

7.1.3 Ensayo de Límites de Atterberg

En este tipo de ensayo se analiza un componente especial para cualquier suelo y es su plasticidad y el comportamiento que tiene con su humedad natural.

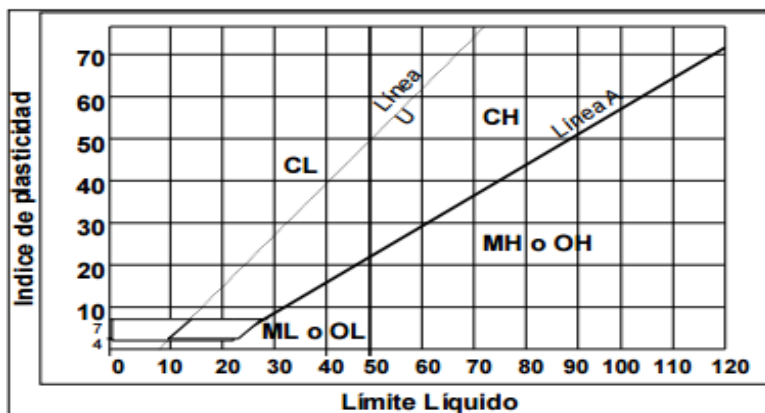
Se realizó tres límites de plasticidad y tres límites líquidos con la máquina de casa grande véase en la figura 7, para obtener un rango y sacar un promedio el cual permita tener una mayor confiabilidad en los resultados. Tales resultados véase en las tablas 6, 7 y 8.

Figura # 10 Máquina de casa grande



Fuente: autores del proyecto


Figura # 11 Carta de plasticidad.



Fuente: Norma INVIAS 2013, sección 100-suelos, E-181. Página 787, Figura 181-1. Carta de plasticidad

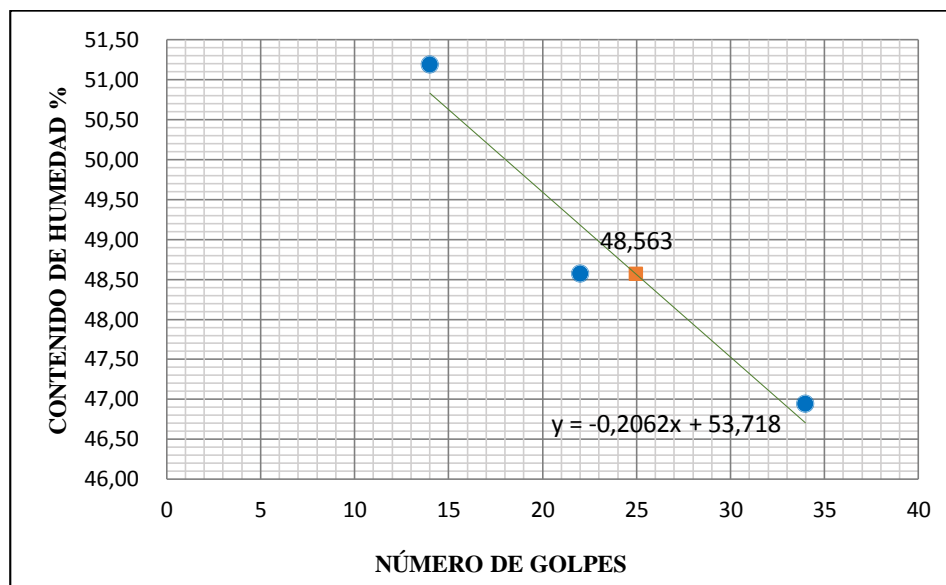
Por medio de la Carta de plasticidad es posible determinar a qué grupo pertenece el suelo estudiado, mediante los ensayos realizados en el laboratorio para obtener una definición más precisa a que grupo pertenece dicho suelo.

Tabla # 6 Datos limite líquido y limite plástico ensayo 1.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | | |
|---|-----------|--|-----------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | | |
| Prueba | Nº Golpes | Peso cápsula + Suelo H. (g) | Peso cápsula + Suelo S. (g) | Peso del agua (g) | Peso de la cápsula (g) | Peso del suelo seco (g) | Contenido humedad (%) |
| LÍMITE LÍQUIDO | | | | | | | |
| 1 | 34 | 33,96 | 31,73 | 2,23 | 26,98 | 4,75 | 46,95 |
| 2 | 22 | 35,34 | 32,78 | 2,56 | 27,51 | 5,27 | 48,58 |
| 3 | 14 | 41,86 | 37,14 | 4,72 | 27,92 | 9,22 | 51,19 |
| LÍMITE PLÁSTICO | | | | | | | |
| 1 | | 40,09 | 36,10 | 3,99 | 20,96 | 15,14 | 26,35 |
| 2 | | 49,63 | 44,87 | 4,76 | 27,14 | 17,73 | 26,85 |
| 2 | | 43,38 | 40,19 | 3,19 | 27,27 | 12,92 | 24,69 |
| | | | | | | PROMEDIO | 25,96 |
| Límite líquido | | 48,56 | | | | | |
| límite plástico | | 25,96 | | | | | |
| índice de plasticidad | | 22,60 | | | | | |


Fuente: autores del proyecto

Figura # 12 Grafica Contenido de humedad Vs número de golpes ensayo 1.



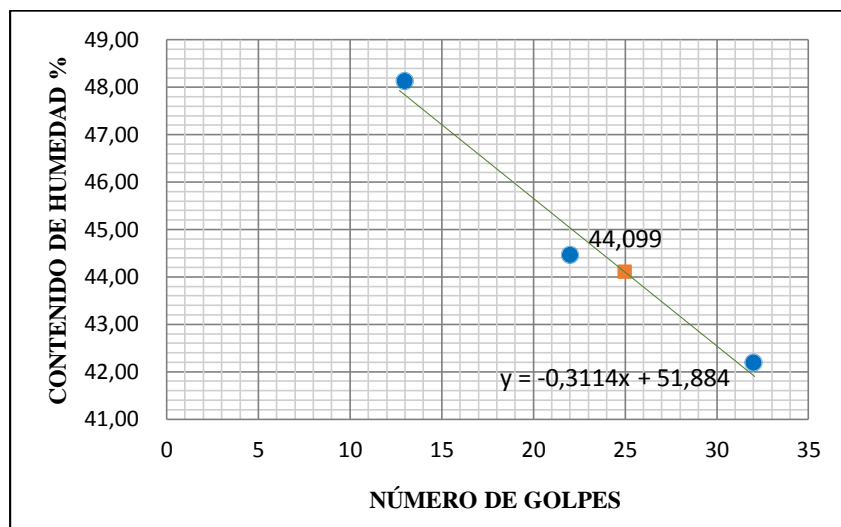
Fuente: autores del proyecto.

Tabla # 7 Datos limite líquido y limite plástico ensayo 2.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | | |
|---|-----------|--|-----------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | | |
| Prueba | Nº Golpes | Peso cápsula + Suelo H. (g) | Peso cápsula + Suelo S. (g) | Peso del agua (g) | Peso de la cápsula (g) | Peso del suelo seco (g) | Contenido humedad (%) |
| LÍMITE LÍQUIDO | | | | | | | |
| 1 | 32 | 28,22 | 26,06 | 2,16 | 20,94 | 5,12 | 42,19 |
| 2 | 22 | 34,16 | 31,95 | 2,21 | 26,98 | 4,97 | 44,47 |
| 3 | 13 | 28,43 | 25,98 | 2,45 | 20,89 | 5,09 | 48,13 |
| LÍMITE PLÁSTICO | | | | | | | |
| 1 | | 51,09 | 46,06 | 5,03 | 21,46 | 24,60 | 20,45 |
| 2 | | 40,63 | 37,40 | 3,23 | 20,14 | 17,26 | 18,71 |
| 2 | | 40,38 | 36,19 | 4,19 | 20,27 | 15,92 | 26,32 |
| | | | | | | PROMEDIO | 21,83 |
| Límite líquido | | 44,10 | | | | | |
| límite plástico | | 21,83 | | | | | |
| índice de plasticidad | | 22,27 | | | | | |


Fuente: autores del proyecto

Figura # 13 Grafica Contenido de humedad Vs número de golpes ensayo 2.



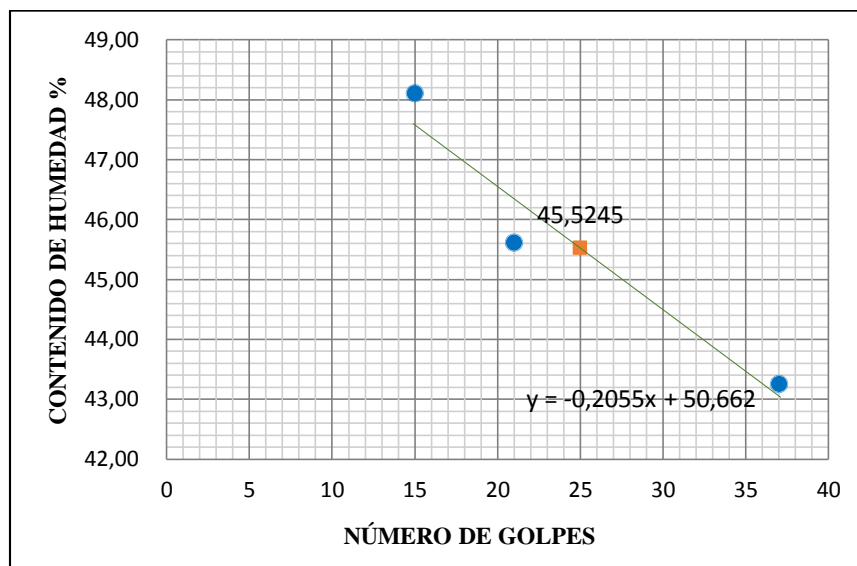
Fuente: autores del proyecto

Tabla # 8 Datos limite líquido y limite plástico ensayo 3.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | | |
|--|-----------|--|-----------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | | |
| Prueba | Nº Golpes | Peso cápsula + Suelo H. (g) | Peso cápsula + Suelo S. (g) | Peso del agua (g) | Peso de la cápsula (g) | Peso del suelo seco (g) | Contenido humedad (%) |
| LÍMITE LÍQUIDO | | | | | | | |
| 1 | 37 | 29,57 | 27,10 | 2,47 | 21,39 | 5,71 | 43,26 |
| 2 | 21 | 32,06 | 28,63 | 3,43 | 21,11 | 7,52 | 45,61 |
| 3 | 15 | 34,99 | 32,44 | 2,55 | 27,14 | 5,30 | 48,11 |
| LÍMITE PLÁSTICO | | | | | | | |
| 1 | | 42,23 | 38,10 | 4,13 | 21,23 | 16,87 | 24,48 |
| 2 | | 47,63 | 42,87 | 4,76 | 20,12 | 22,75 | 20,92 |
| 2 | | 44,38 | 41,19 | 3,19 | 27,28 | 13,91 | 22,93 |
| | | | | | | PROMEDIO | 22,78 |
| Límite líquido | | 45,52 | | | | | |
| límite plástico | | 22,78 | | | | | |
| índice de plasticidad | | 22,75 | | | | | |

Fuente: autores del proyecto

Figura # 14 Grafica Contenido de humedad Vs número de golpes ensayo 3.



Fuente: autores del proyecto

Por medio de los datos obtenidos y la gráfica de la Figura # 13,14 y 15, y los datos obtenidos de granulometría, se obtiene un suelo CL (arcilla limosa de baja a media plasticidad) según la clasificación de la carta de plasticidad (figura 12) el suelo trabajado según clasificación ASSHTO es un suelo arcilloso con índice de grupo (10) con una clasificación A-7-5.

7.2 Ensayo de compactación.

Los ensayos se realizaron con el martillo modificado (véase figura 16) y a partir de la norma INV E-141-13, relaciones de humedad – peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación), con el fin de obtener la relación entre la humedad y el peso unitario del suelo seco para establecer la humedad óptima de dicho suelo.

Es uno de los más importantes procedimientos de estudio de la compactación a un determinado terreno, por medio de este ensayo se determina la densidad seca máxima de un suelo en relación con su porcentaje de humedad debido a una compactación determinada.


Figura # 15 Martillo de compactación.



Fuente: autores del proyecto

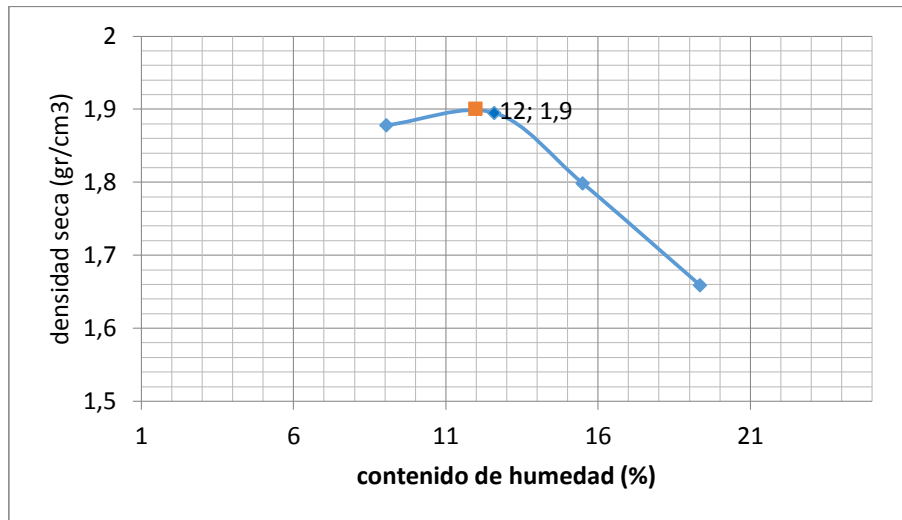
Se realizaron tres (3) ensayos de compactación para el suelo estudiado en el cual se variaron diferentes porcentajes al momento de aumentar la humedad, en la tabla # 9 se presenta un promedio aproximado y resumen de los tres ensayos realizados y a continuación de la tabla en la figura 17 se muestra la gráfica de compactación con el punto máximo de la curva como compactación al 100%.

Tabla # 9 Promedio de resultados de ensayo de compactación.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | | | |
|---|-------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | | | |
| ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO | | numero de capas | | | | | 5 | |
| | | numero de golpes | | | | | 25 | |
| COMPACTACION | | | | | | | | |
| Prueba N° | unidades | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 |
| porcentaje de humedad añadido | % | 5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 2 | 3 |
| contenido de humedad | ml | 150 | 60 | 90 | 120 | 150 | 60 | 90 |
| peso del molde | gr | 4368 | 4368 | 4368 | 4368 | 4368 | 4368 | 4368 |
| peso del molde + suelo compactado | gr | 6275 | 6280 | 6288 | 6368 | 6315 | 6224 | 6214 |
| peso del suelo compactado | gr | 1907 | 1912 | 1920 | 2000 | 1947 | 1856 | 1846 |
| volumen del molde | cm ³ | 937,39 | 937,39 | 937,39 | 937,39 | 937,39 | 937,39 | 937,39 |
| densidad humeda | gr/m ³ | 2,034 | 2,040 | 2,048 | 2,134 | 2,077 | 1,980 | 1,969 |
| densidad seca | gr/m ³ | 1,933 | 1,903 | 1,878 | 1,895 | 1,798 | 1,659 | 1,606 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | |
| Prueba N° | unidades | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 |
| peso capsula + suelo humedo | gr | 99,4 | 82,1 | 75,2 | 85,4 | 65,2 | 80,7 | 107,5 |
| peso de capsula + suelo seco | gr | 95,5 | 78 | 70,7 | 78,9 | 60,1 | 70,6 | 92,7 |
| peso de capsula | gr | 20,9 | 20,9 | 21 | 27,3 | 27,2 | 18,4 | 27,2 |
| peso del agua | gr | 3,9 | 4,1 | 4,5 | 6,5 | 5,1 | 10,1 | 14,8 |
| peso del suelo seco | gr | 74,6 | 57,1 | 49,7 | 51,6 | 32,9 | 52,2 | 65,5 |
| contenido de humedad | % | 5,23 | 7,18 | 9,05 | 12,60 | 15,50 | 19,35 | 22,60 |
| Peso inicial | | 3000 | | | | | | g |
| Diametro molde | | 10,1 | | | | | | cm |
| Altura del molde | | 11,7 | | | | | | cm |
| Densidad Maxima | | 1,9 | | | | | | g/cm ³ |
| Humedad Optima | | 12 | | | | | | % |

Fuente: autores del proyecto

Figura # 16 Grafica relación Humedad y Densidad seca.



Fuente :autores del proyecto

7.3 Ensayo de compresión simple.


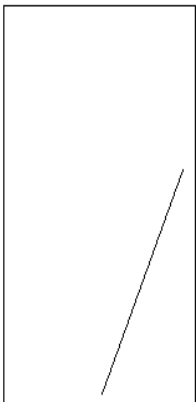
Los ensayos se realizaron con el aparato de compresión y basado en la norma INV E-152-13 Compresión inconfiada en muestras de suelos, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación. En este ensayo fue necesario realizar tres (3) veces el mismo procedimiento para lograr un rango más alto de confiabilidad en los resultados, en las tablas # 10, 11 y 12 se encuentran los datos obtenidos en los ensayos.

Figura # 17 Ensayo de compresión simple ensayo 1.



Fuente: autores del proyecto.

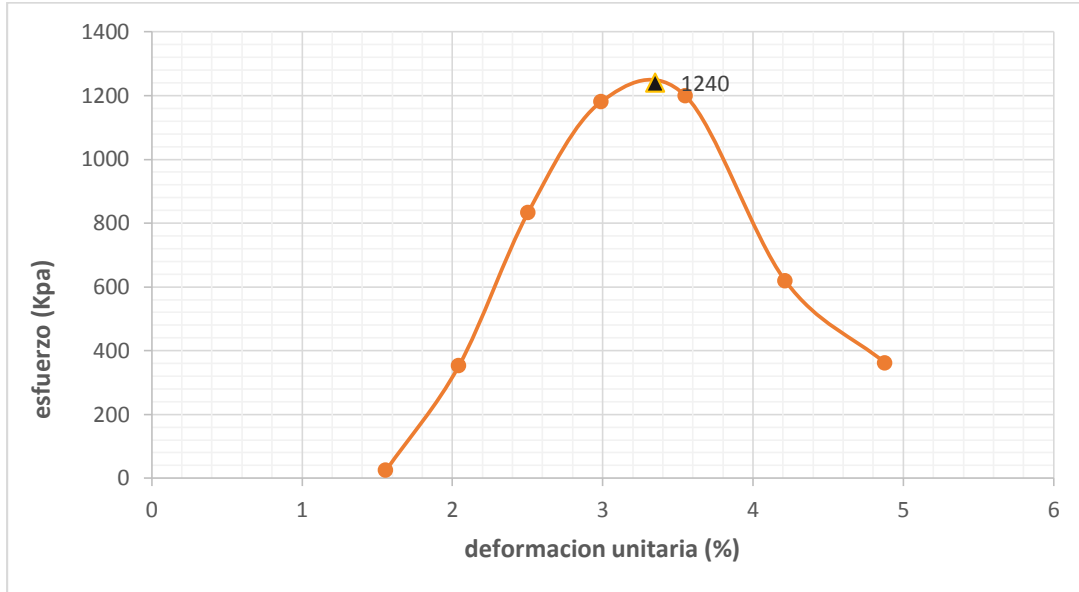
Tabla # 10 ensayo de compresión simple ensayo 1.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|--|---|-----------|--------------------------|----------------|
| | | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | |
| COMPRESION INCOFINADA | | | Densidad Maxima | | 1,9 | g/cm ³ | |
| | | | Humedad Optima | | 12 | % | |
| diametro 1 | 50,32 | mm | altura 1 | 99,43 | mm | | |
| diametro 2 | 50,24 | mm | altura 2 | 99,45 | mm | VELOCIDAD | 0,03937 in/min |
| diametro 3 | 50,33 | mm | altura 3 | 99,5 | mm | | 1,0 mm/min |
| Peso(W) | | 386,8 | g | area inicial | 1988,7086 | mm ² | |
| tiempo (seg) | deformacionn (in) | deformacion (mm) | carga (Lb) | Ezquema de Falla | | peso tara | 26,96 g |
| 0 | 0 | 0 | 0 |  | | peso tara + suelo humedo | 81,96 g |
| 30 | 0,061 | 1,5494 | 11 | | | peso tara + suelo seco | 77,77 g |
| 60 | 0,08 | 2,032 | 161 | | | peso de suelo seco | 50,81 g |
| 90 | 0,098 | 2,4892 | 382 | | | peso agua | 4,19 g |
| 120 | 0,117 | 2,9718 | 544 | | | contenido de humedad | 8,246 % |
| 150 | 0,139 | 3,5306 | 556 | | | | |
| 180 | 0,165 | 4,191 | 289 | | | | |
| 210 | 0,191 | 4,8514 | 170 | | | | |
| | | | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | | 67,4° falla | |
| carga (kN) | d. unitaria (%) | A. corregida (m2) | esfuerzo (kPa) | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 0,049 | 1,558 | 0,002020 | 24,2207 | | | | |
| 0,716 | 2,044 | 0,002030 | 352,7555 | | | | |
| 1,699 | 2,503 | 0,002040 | 833,0438 | | | | |
| 2,420 | 2,989 | 0,002050 | 1180,4183 | | | | |
| 2,473 | 3,551 | 0,002062 | 1199,4677 | | | | |
| 1,286 | 4,215 | 0,002076 | 619,1709 | | | | |
| 0,756 | 4,879 | 0,002091 | 361,6926 | | | | |

| | |
|-------------|------|
| qu (kPa) | 1240 |
| d. unitaria | 3,35 |

Fuente: autores del proyecto.

Por medio de los datos obtenidos se procede a realizar la gráfica de compresión simple para determinar la carga axial máxima véase en la figura 19.


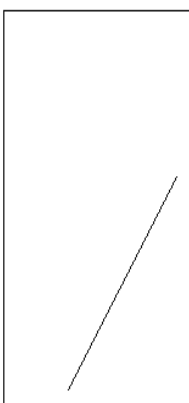
Figura # 18 Grafica compresión simple ensayo 1.

Fuente: autores del proyecto

Figura # 19 Ensayo de compresión simple ensayo 2.

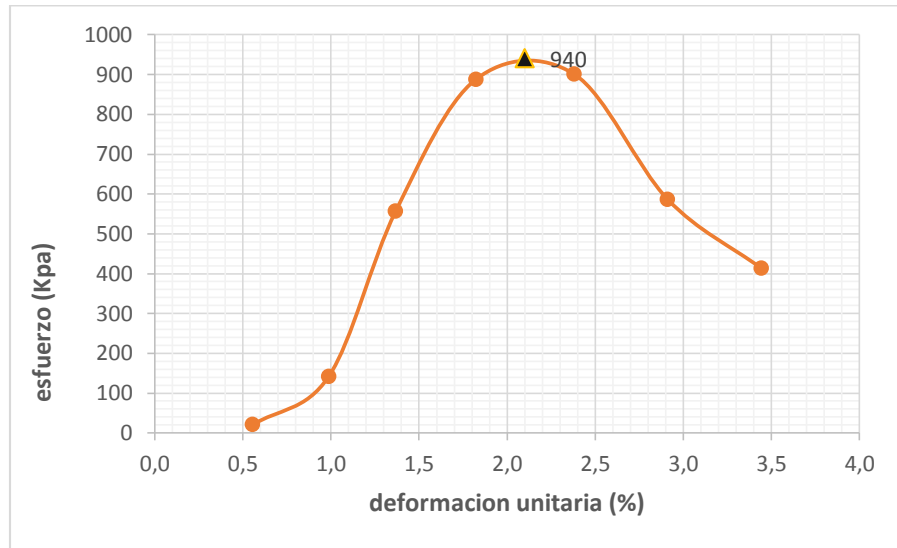
Fuente: autores del proyecto

Tabla # 11 ensayo de compactación ensayo 2.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------------------------|--|--|----------|--------------------------|-------------------|--------|
| | | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | | |
| COMPRESION INCOFINADA | | | Densidad Maxima | | | 1,9 | g/cm ³ | |
| | | | Humedad Optima | | | 12 | % | |
| diametro 1 | 49,48 | mm | altura 1 | 100,31 | mm | | | |
| diametro 2 | 50,42 | mm | altura 2 | 99,98 | mm | VELOCIDAD | 0,03937 | in/min |
| diametro 3 | 50,44 | mm | altura 3 | 100,15 | mm | | 1,0 | mm/min |
| Peso(W) | | 387,5 | g | area inicial | 1922,867 | mm ² | | |
| tiempo (seg) | deformacionn (in) | deformacion (mm) | carga (Lb) | Ezquema de Falla | | peso tara | 21,34 | g |
| 0 | 0 | 0 | 0 |  | | peso tara + suelo humedo | 74,37 | g |
| 30 | 0,022 | 0,5588 | 9 | | | peso tara + suelo seco | 70,38 | g |
| 60 | 0,039 | 0,9906 | 62 | | | peso de suelo seco | 49,04 | g |
| 90 | 0,054 | 1,3716 | 244 | | | peso agua | 3,99 | g |
| 120 | 0,072 | 1,8288 | 391 | | | contenido de humedad | 8,136 | % |
| 150 | 0,094 | 2,3876 | 399 | | | | | |
| 180 | 0,115 | 2,921 | 261 | | | | | |
| 210 | 0,136 | 3,4544 | 185 | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | OBSERVACIONES | | |
| | | | | | | 64,9° falla | | |
| carga (kN) | d. unitaria (%) | A. corregida (m²) | esfuerzo (kPa) | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| 0,040 | 0,557 | 0,001934 | 20,7040 | | | | | |
| 0,276 | 0,988 | 0,001942 | 142,0099 | | | | | |
| 1,085 | 1,367 | 0,001950 | 556,7339 | | | | | |
| 1,739 | 1,823 | 0,001959 | 888,0206 | | | | | |
| 1,775 | 2,380 | 0,001970 | 901,0480 | | | | | |
| 1,161 | 2,912 | 0,001981 | 586,1967 | | | | | |
| 0,823 | 3,444 | 0,001991 | 413,2277 | | | | | |
| | | | | | | qu (kPa) | 940 | |
| | | | | | | d. unitaria | 2,1 | |

Fuente: autores del proyecto

Por medio de los datos obtenidos se procede a realizar la gráfica de compresión simple para determinar la carga axial máxima véase en la figura 21.

Figura # 20 Grafica compresión simple ensayo 2


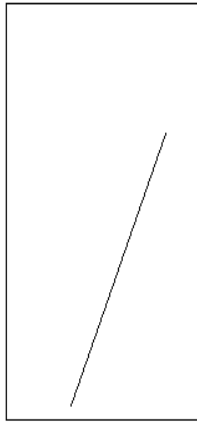
Fuente: autores del proyecto

A continuación, en la Figura 22 se presenta la falla de la muestra del ensayo 3.

Figura # 21 Ensayo de compresión ensayo 3.

Fuente: autores del proyecto

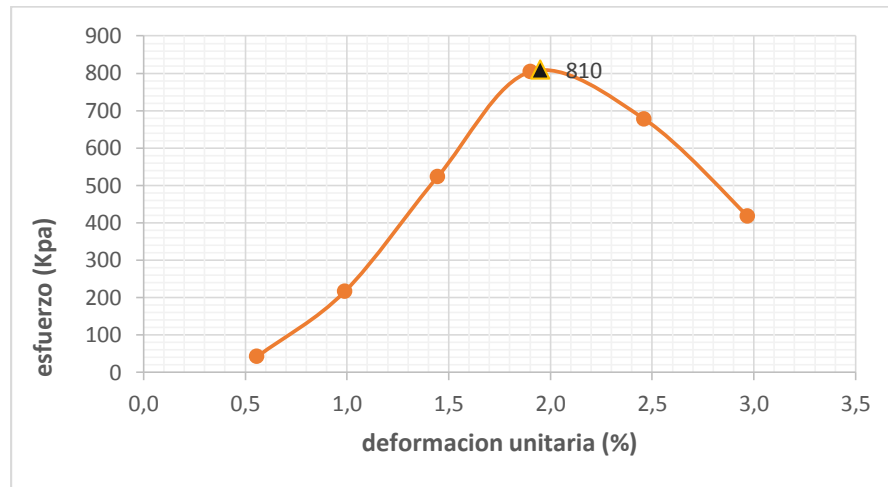
Tabla # 12 ensayo de compresión simple ensayo 3.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|--|--|----------|--------------------------|-------------------|--------|
| | | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | | |
| COMPRESION INCOFINADA | | | Densidad Maxima | | | 1,9 | g/cm ³ | |
| | | | Humedad Optima | | | 12 | % | |
| diametro 1 | 50,35 | mm | altura 1 | 100,1 | mm | VELOCIDAD | 0,03937 | in/min |
| diametro 2 | 50,17 | mm | altura 2 | 100,2 | mm | | 1,0 | mm/min |
| diametro 3 | 49,92 | mm | altura 3 | 99,95 | mm | | | |
| Peso(W) | | 376,7 | g | area inicial | 1991,081 | mm ² | | |
| tiempo (seg) | deformacionn (in) | deformacion (mm) | carga (Lb) | Ezquema de Falla | | peso tara | 27,09 | g |
| 0 | 0 | 0 | 0 |  | | peso tara + suelo humedo | 70,17 | g |
| 30 | 0,022 | 0,5588 | 19 | | | peso tara + suelo seco | 66,81 | g |
| 60 | 0,039 | 0,9906 | 98 | | | peso de suelo seco | 39,72 | g |
| 90 | 0,057 | 1,4478 | 238 | | | peso agua | 3,36 | g |
| 120 | 0,075 | 1,905 | 367 | | | contenido de humedad | 8,459 | % |
| 150 | 0,097 | 2,4638 | 311 | | | | | |
| 180 | 0,117 | 2,9718 | 193 | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | OBSERVACIONES | | |
| | | | | | | 74,1° falla | | |
| carga (kN) | d. unitaria (%) | A. corregida (m2) | esfuerzo (kPa) | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| 0,085 | 0,558 | 0,002002 | 42,2105 | | | | | |
| 0,436 | 0,990 | 0,002011 | 216,7726 | | | qu (kPa) | 810 | |
| 1,059 | 1,446 | 0,002020 | 524,0193 | | | d. unitaria | 1,95 | |
| 1,632 | 1,903 | 0,002030 | 804,3017 | | | | | |
| 1,383 | 2,461 | 0,002041 | 677,6958 | | | | | |
| 0,859 | 2,969 | 0,002052 | 418,3755 | | | | | |

Fuente: autores del proyecto

Por medio de los datos obtenidos se procede a realizar la gráfica de compresión simple para determinar la carga axial máxima véase en la figura 23.

Figura # 22 Grafico compresión simple ensayo 3.



Fuente: autores del proyecto.

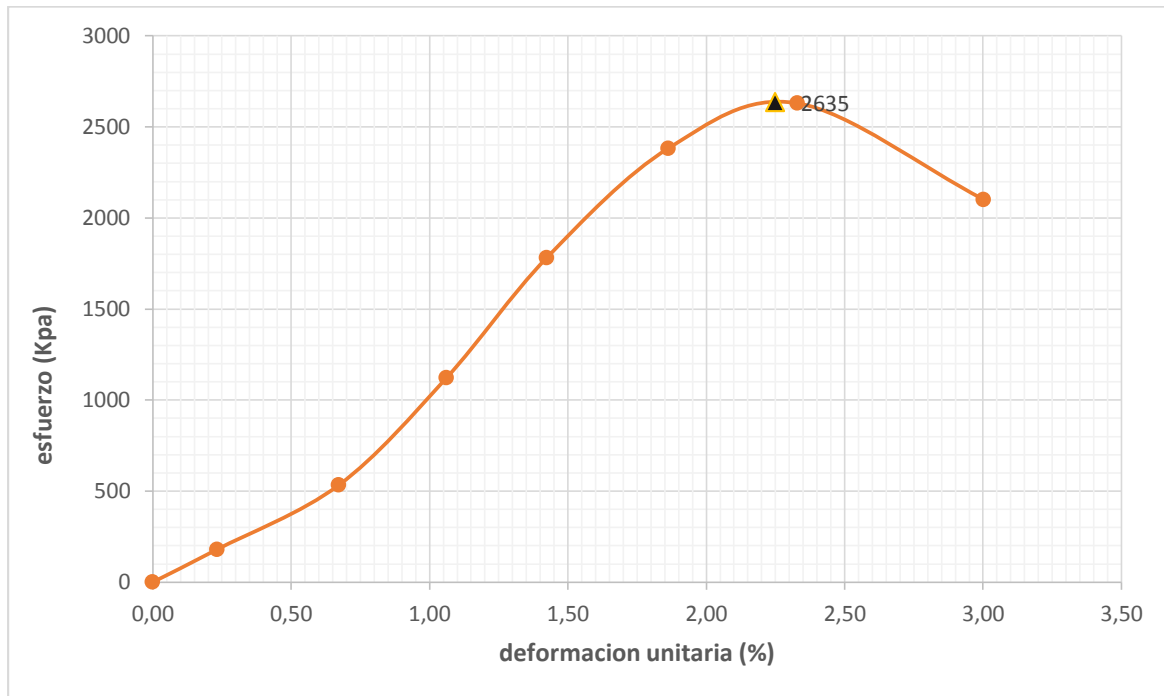
7.3.1 Ensayo de compresión simple + STASOIL + CEMENTO.

Los ensayos se realizaron con el aparato de compresión y basado en la norma INV E-152-13 Compresión inconfiada en muestras de suelos, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación. En este ensayo fue necesario realizar tres (3) veces el mismo procedimiento para lograr un rango más alto de confiabilidad en los resultados, en las tablas # 13, 14 y 15 se encuentran los datos obtenidos en el laboratorio.

Figura # 23 Ensayo de compresión simple 1 suelo + STASOIL + CEMENTO.



Fuente: autores del proyecto.


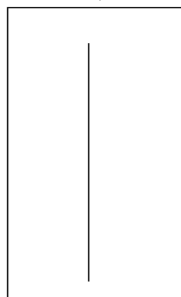
Figura # 24 Grafica compresión simple ensayo 1.

Fuente: autores del proyecto.

Figura # 25 Ensayo de compresión simple 2 suelo + STASOIL + CEMENTO.

Fuente: autores del proyecto.

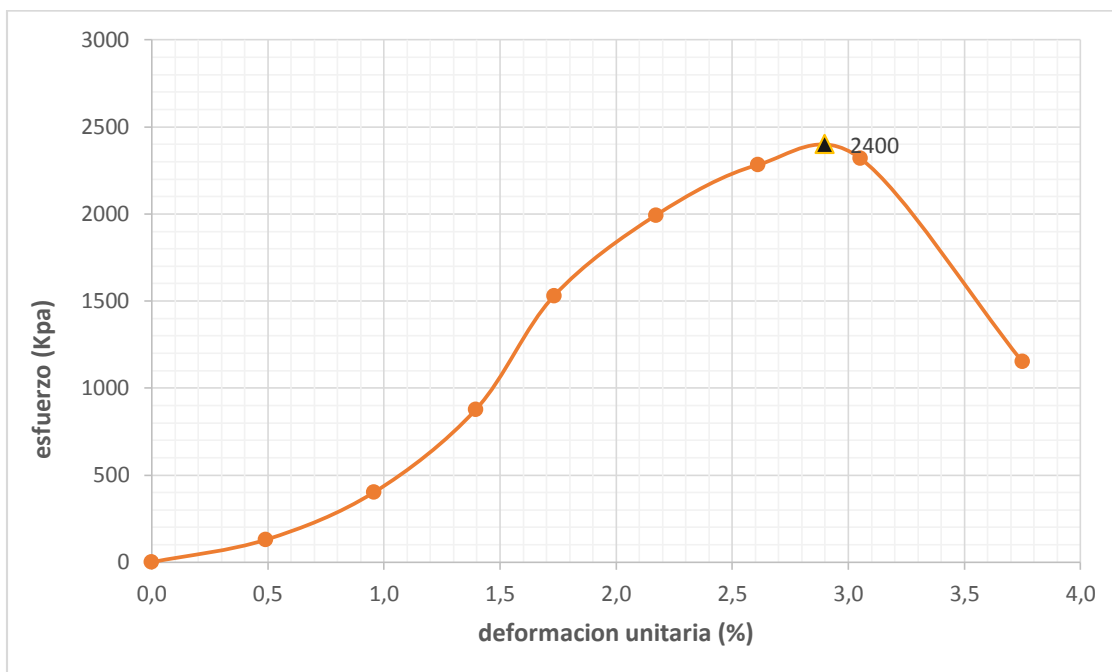
Tabla # 14 ensayo de compresión simple ensayo 2 suelo + STASOIL + cemento.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | | |
|---|-------------------|--------------------------------|--|--|-----------|--------------------------|---------|--------|
| | | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | | |
| COMPRESION INCOFINADA | | | Densidad Maxima | | 1,9 | g/cm ³ | | |
| | | | Humedad Optima | | 12 | % | | |
| diametro 1 | 50,32 | mm | altura 1 | 98,24 | mm | | | |
| diametro 2 | 49,87 | mm | altura 2 | 96,23 | mm | VELOCIDAD | 0,03937 | in/min |
| diametro 3 | 49,84 | mm | altura 3 | 97,3 | mm | | 1,0 | mm/min |
| Peso(W) | | 390,51 | g | area inicial | 1988,7086 | mm ² | | |
| tiempo (seg) | deformacionn (in) | deformacion (mm) | carga (Lb) | Ezquema de Falla | | peso tara | 27,08 | g |
| 0 | 0 | 0 | 0 |  | | peso tara + suelo humedo | 69,94 | g |
| 30 | 0,019 | 0,4826 | 58 | | | peso tara + suelo seco | 68,7 | g |
| 60 | 0,037 | 0,9398 | 181 | | | peso de suelo seco | 41,62 | g |
| 90 | 0,054 | 1,3716 | 398 | | | peso agua | 1,24 | g |
| 120 | 0,067 | 1,7018 | 696 | | | contenido de humedad | 2,979 | % |
| 150 | 0,084 | 2,1336 | 911 | | | | | |
| 180 | 0,101 | 2,5654 | 1048 | | | OBSERVACIONES | | |
| 210 | 0,118 | 2,9972 | 1070 | | | 90° falla | | |
| 240 | 0,145 | 3,683 | 535 | | | | | |
| carga (kN) | d. unitaria (%) | A. corregida (m ²) | esfuerzo (kPa) | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| 0,258 | 0,491 | 0,001999 | 129,0936 | | | | | |
| 0,805 | 0,957 | 0,002008 | 400,9768 | | | | | |
| 1,770 | 1,396 | 0,002017 | 877,7931 | | | | | |
| 3,096 | 1,732 | 0,002024 | 1529,8026 | | | | | |
| 4,052 | 2,172 | 0,002033 | 1993,4146 | | | | | |
| 4,662 | 2,611 | 0,002042 | 2282,8895 | | | | | |
| 4,760 | 3,051 | 0,002051 | 2320,2933 | | | | | |
| 2,380 | 3,749 | 0,002066 | 1151,7930 | | | | | |

| | |
|-------------|------|
| qu (kPa) | 2400 |
| d. unitaria | 2,9 |

Fuente: autores del proyecto.

Por medio de los datos obtenidos se procede a realizar la gráfica de compresión simple con los aditivos STASOIL y cemento para determinar la carga axial máxima véase en la figura 25.


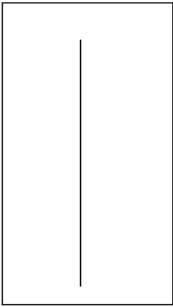
Figura # 26 Grafica compresión simple ensayo 2.

Fuente: autores del proyecto.

Figura # 27 Ensayo de compresión simple 3 suelo + STASOIL + CEMENTO.

Fuente: autores del proyecto.

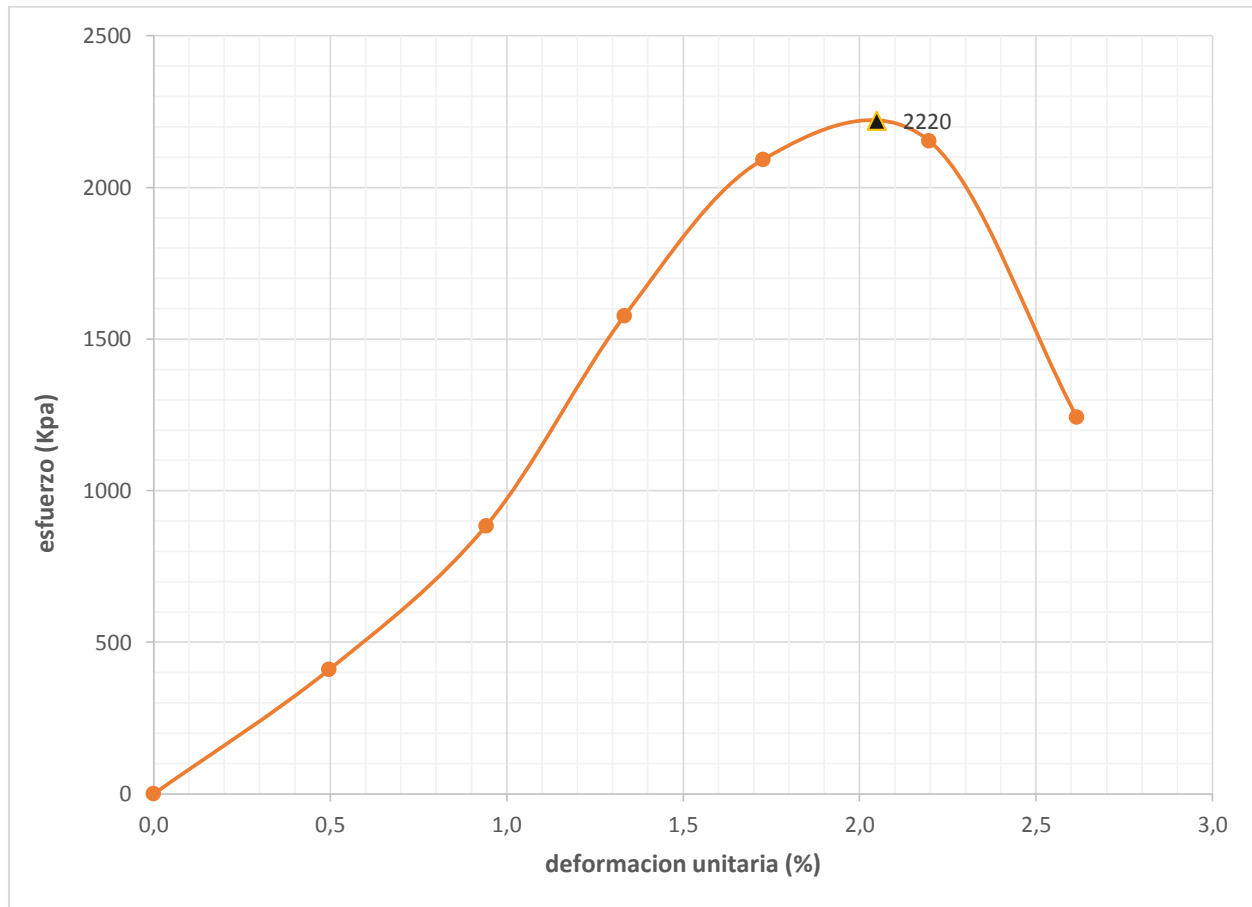
Tabla # 15 ensayo de compresión simple ensayo 3 suelo + STASOIL + cemento.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|--|--|-------------|--------------------------|-------------------|--|
| | | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | | |
| COMPRESION INCOFINADA | | | Densidad Maxima | | | 1,9 | g/cm ³ | |
| | | | Humedad Optima | | | 12 | % | |
| diametro 1 | 49,87 | mm | altura 1 | 97,1 | mm | | | |
| diametro 2 | 50,1 | mm | altura 2 | 98,12 | mm | VELOCIDAD | 0,03937 in/min | |
| diametro 3 | 50,23 | mm | altura 3 | 98,59 | mm | | 1,0 mm/min | |
| Peso(W) | | 388,55 | g | area inicial | 1953,298506 | mm ² | | |
| tiempo (seg) | deformacionn (in) | deformacion (mm) | carga (Lb) | Ezquema de Falla | | peso tara | 26,95 g | |
| 0 | 0 | 0 | 0 |  | | peso tara + suelo humedo | 58,78 g | |
| 30 | 0,019 | 0,4826 | 181 | | | peso tara + suelo seco | 58 g | |
| 60 | 0,036 | 0,9144 | 392 | | | peso de suelo seco | 31,05 g | |
| 90 | 0,051 | 1,2954 | 702 | | | peso agua | 0,78 g | |
| 120 | 0,066 | 1,6764 | 935 | | | contenido de humedad | 2,512 % | |
| 150 | 0,084 | 2,1336 | 967 | | | | | |
| 180 | 0,1 | 2,54 | 560 | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | OBSERVACIONES | | |
| | | | | | | 90° falla | | |
| carga (kN) | d. unitaria (%) | A. corregida (m2) | esfuerzo (kPa) | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| 0,805 | 0,497 | 0,001963 | 410,1404 | | | | | |
| 1,744 | 0,942 | 0,001972 | 884,2900 | | | | | |
| 3,123 | 1,334 | 0,001980 | 1577,3282 | | | | | |
| 4,159 | 1,726 | 0,001988 | 2092,5026 | | | | | |
| 4,301 | 2,197 | 0,001997 | 2153,7488 | | | | | |
| 2,491 | 2,616 | 0,002006 | 1241,9214 | | | | | |

| | |
|-----------------|------|
| qu (kPa) | 2220 |
| d. unitaria (%) | 2,05 |

Fuente: autores del proyecto.

Por medio de los datos obtenidos se procede a realizar la gráfica de compresión simple con los aditivos STASOIL y cemento para determinar la carga axial máxima véase en la figura 26.

Figura # 28 Grafica compresión simple ensayo 3.

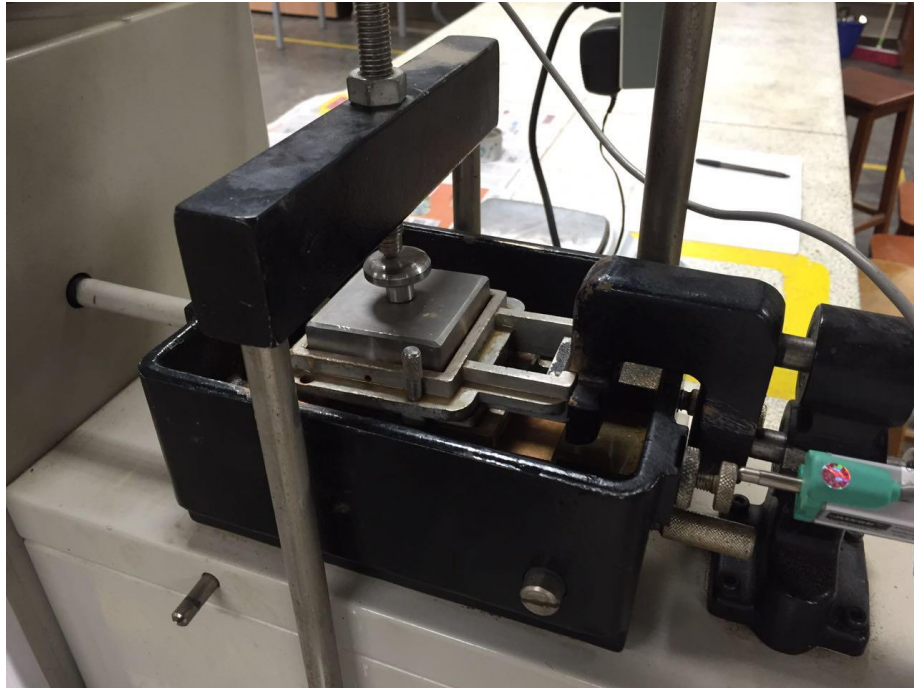
Fuente: autores del proyecto.

7.4 Ensayo de Corte Directo.

Este ensayo se realizó por medio de la norma INV E-154-13 que tiene por objeto determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada por medio de una deformación realizada a un suelo a una velocidad controlada, cerca a un plano de corte.

En la Figura # 30, se muestra la máquina para la realización del ensayo de corte directo en el laboratorio.


Figura # 29 Maquina corte directo



Fuente: autores del proyecto

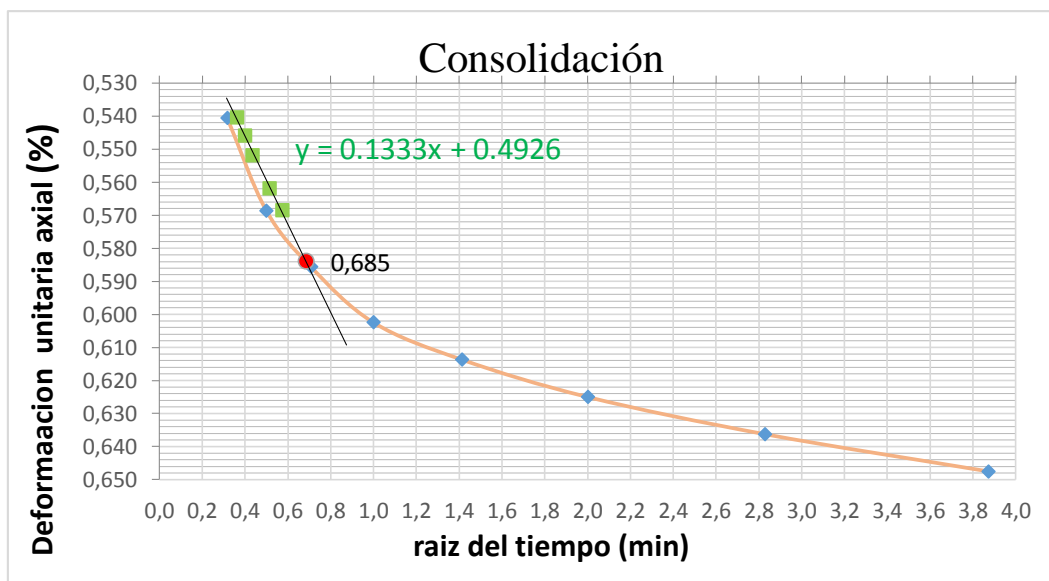
Se realizaron tres (3) puntos de corte para cada ensayo de corte directo en los cuales se sometieron a cargas de presión de 0.5, 1 y 2 de kg/cm². Véase los datos obtenidos en las tablas # 16, 17,18,19,20 y 21.

Tabla # 16 datos de consolidación 0.5 kg/cm2.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | | |
|---|------------------|------------|----------------|--|-------|---------------------------|--------|-----|-------|
| | | | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | | |
| CONSOLIDACION 0,5 Kg/cm2 | | | | peso molde + suelo | | 255,2 | g | | |
| | | | | peso molde | | 131,33 | g | | |
| tiempo (min) | D. vertical (mm) | \sqrt{t} | ϵ (%) | altura molde | | 17,76 | mm | | |
| 0,1 | 0,096 | 0,316 | 0,541 | diametro molde | | 6 | cm | | |
| 0,25 | 0,101 | 0,500 | 0,569 | area molde | | 36 | cm2 | | |
| 0,5 | 0,104 | 0,707 | 0,586 | presion corte # 1 | | 0,5 | kg/cm2 | | |
| 1 | 0,107 | 1,000 | 0,602 | fuerza nominal | | 18 | kg | | |
| 2 | 0,109 | 1,414 | 0,614 | 1.15*Raiz del tiempo | | punto de interseccion | | | |
| 4 | 0,111 | 2,000 | 0,625 | 0,364 | 0,541 | x | y | | |
| 8 | 0,113 | 2,828 | 0,636 | 0,437 | 0,552 | 0,685 | 0,584 | | |
| 15 | 0,115 | 3,873 | 0,648 | 0,518 | 0,562 | tiempo 90 % consolidacion | | t90 | 0,469 |
| 30 | 0,118 | 5,477 | 0,664 | 0,575 | 0,569 | tiempo de falla | | Tf | 5,44 |
| 60 | 0,124 | 7,746 | 0,698 | 0,403 | 0,546 | | | | |
| 120 | 0,135 | 10,954 | 0,760 | | | | | | |
| 240 | 0,15 | 15,492 | 0,845 | | | | | | |
| 480 | 0,175 | 21,909 | 0,985 | | | | | | |
| 1440 | 0,185 | 37,947 | 1,042 | | | | | | |

Fuente: autores del proyecto

Figura # 30 Grafica Curva de Taylor Consolidación 0,5 kg/cm2.

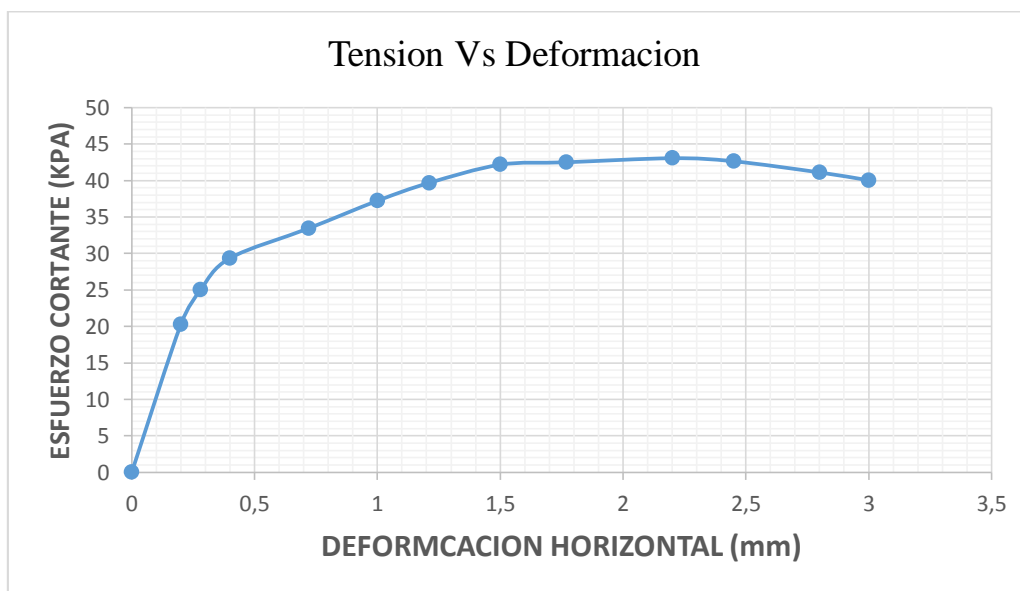


Fuente: autores del proyecto

Tabla # 17 ensayo corte directo 0.5 kg/cm²


| CORTE DIRECTO 0,5 Kg/cm ² | | | | | Velocidad de corte | | 0,5 | mm/min |
|--------------------------------------|------------------|--------------------|-----------|-------------------|-------------------------------------|--|--------|--------|
| tiempo (seg) | D. vertical (mm) | D. horizontal (mm) | carga (N) | E. cortante (Kpa) | | | | |
| 0 | 0 | 0,00 | 0,0 | 0,00 | peso de suelo de moldeo + tara | | 56,36 | g |
| 30 | 0,001 | 0,20 | 73,0 | 20,28 | peso de tara | | 20,95 | g |
| 60 | 0,002 | 0,28 | 90,0 | 25,00 | peso de suelo de moldeo seco + tara | | 51,9 | g |
| 90 | 0,002 | 0,40 | 105,7 | 29,36 | peso de la muestra seca | | 30,95 | g |
| 120 | 0,002 | 0,72 | 120,4 | 33,44 | peso de agua | | 4,46 | g |
| 150 | 0,002 | 1,00 | 134,0 | 37,22 | contenido de humedad | | 14,410 | % |
| 180 | 0,002 | 1,21 | 142,8 | 39,67 | peso de suelo de corte + tara | | 55,07 | g |
| 210 | 0,002 | 1,50 | 151,8 | 42,17 | peso de tara | | 21,2 | g |
| 240 | 0,002 | 1,77 | 153,0 | 42,50 | peso de suelo de corte seco + tara | | 48,25 | g |
| 270 | 0,002 | 2,20 | 155,0 | 43,06 | peso de la muestra seca | | 27,05 | g |
| 300 | 0,002 | 2,45 | 153,5 | 42,64 | peso de agua | | 6,82 | g |
| 330 | 0,004 | 2,80 | 148,0 | 41,11 | contenido de humedad | | 25,213 | % |
| 360 | 0,017 | 3,00 | 144,1 | 40,03 | | | | |

Fuente: autores del proyecto

Figura # 31 Grafica Tensión vs Deformación 0.5 kg/cm².

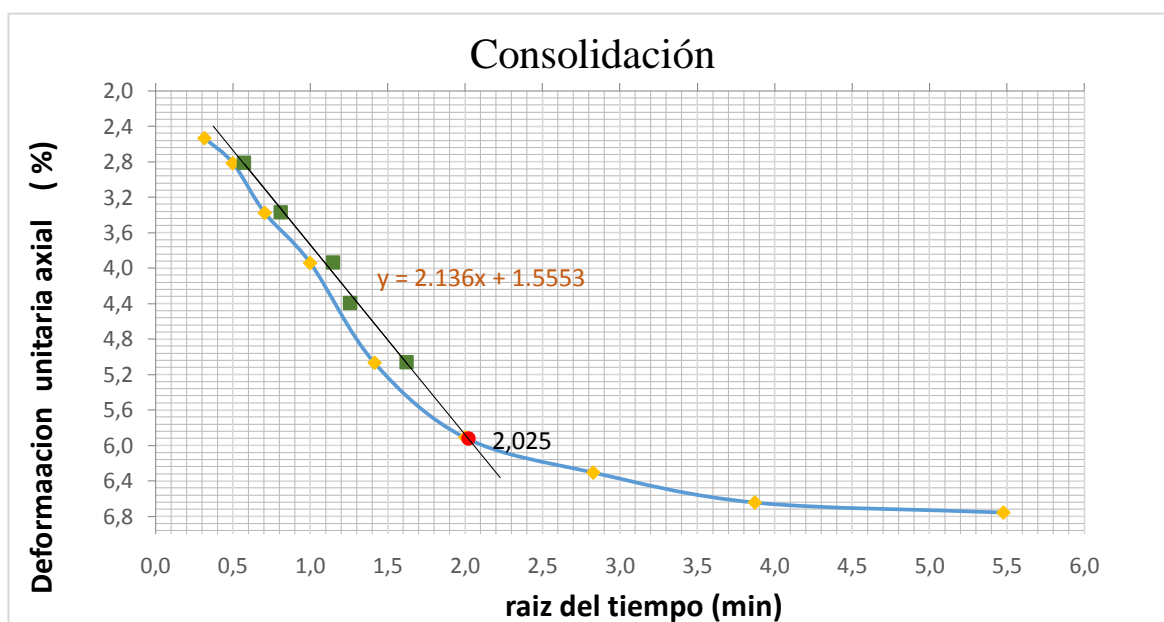
Fuente: autores del proyecto

Tabla # 18 datos de consolidación 1 kg/cm2.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | | |
|---|------------------|------------|----------------|--|-------|---------------------------|--------------------|-----------------|-------|
| | | | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | | |
| CONSOLIDACION 1,0 Kg/cm2 | | | | peso molde + suelo | | 269,89 | g | | |
| | | | | peso molde | | 135,99 | g | | |
| tiempo (min) | D. vertical (mm) | \sqrt{t} | ϵ (%) | altura molde | | 17,76 | mm | | |
| 0,1 | 0,45 | 0,316 | 2,534 | diametro molde | | 6 | cm | | |
| 0,25 | 0,5 | 0,500 | 2,815 | area molde | | 36 | cm ² | | |
| 0,5 | 0,6 | 0,707 | 3,378 | presion corte # 1 | | 1 | kg/cm ² | | |
| 1 | 0,7 | 1,000 | 3,941 | fuerza nominal | | 36 | kg | | |
| 2 | 0,9 | 1,414 | 5,068 | 1.15*Raiz del tiempo | | punto de interseccion | | | |
| 4 | 1,05 | 2,000 | 5,912 | 1,260 | 4,400 | x | y | | |
| 8 | 1,12 | 2,828 | 6,306 | 0,575 | 2,815 | 2,025 | 5,93 | | |
| 15 | 1,18 | 3,873 | 6,644 | 1,150 | 3,941 | tiempo 90 % consolidacion | | t ₉₀ | 4,101 |
| 30 | 1,2 | 5,477 | 6,757 | 1,626 | 5,068 | tiempo de falla | | T _f | 47,57 |
| 60 | 1,27 | 7,746 | 7,151 | 0,813 | 3,378 | | | | |
| 120 | 1,275 | 10,954 | 7,179 | | | | | | |
| 240 | 1,284 | 15,492 | 7,230 | | | | | | |
| 480 | 1,28 | 21,909 | 7,207 | | | | | | |
| 1440 | 1,357 | 37,947 | 7,641 | | | | | | |

Fuente: autores del proyecto

Figura # 32 Grafica Curva de Taylor Consolidación 1 kg/cm2.



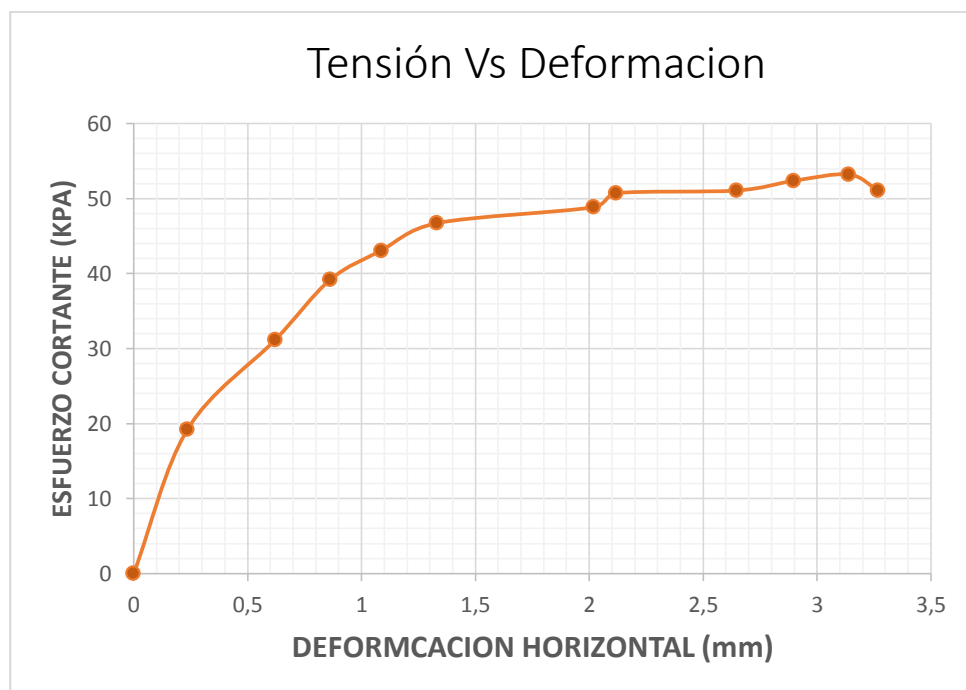
Fuente: autores del proyecto

Tabla # 19 ensayo corte directo 1 kg/cm²

| CORTE DIRECTO 1,0 Kg/cm ² | | | | | Velocidad de corte | | 0,5 | mm/min |
|--------------------------------------|------------------|--------------------|-----------|-------------------|-------------------------------------|--|--------|--------|
| tiempo (seg) | D. vertical (mm) | D. horizontal (mm) | carga (N) | E. cortante (Kpa) | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | peso de suelo de moldeo + tara | | 58,79 | g |
| 30 | 0,043 | 0,236 | 69,2 | 19,22 | peso de tara | | 20,68 | g |
| 60 | 0,053 | 0,622 | 112,3 | 31,19 | peso de suelo de moldeo seco + tara | | 53,44 | g |
| 90 | 0,065 | 0,863 | 141,1 | 39,19 | peso de la muestra seca | | 32,76 | g |
| 120 | 0,074 | 1,087 | 155,1 | 43,08 | peso de agua | | 5,35 | g |
| 150 | 0,081 | 1,33 | 168,2 | 46,72 | contenido de humedad | | 16,331 | % |
| 180 | 0,092 | 2,019 | 175,9 | 48,86 | peso de suelo de corte + tara | | 75,29 | g |
| 210 | 0,098 | 2,118 | 182,6 | 50,72 | peso de tara | | 26,83 | g |
| 240 | 0,109 | 2,647 | 183,9 | 51,08 | peso de suelo de corte seco + tara | | 66,27 | g |
| 270 | 0,127 | 2,898 | 188,6 | 52,39 | peso de la muestra seca | | 39,44 | g |
| 300 | 0,154 | 3,139 | 191,6 | 53,22 | peso de agua | | 9,02 | g |
| 330 | 0,157 | 3,268 | 183,9 | 51,08 | contenido de humedad | | 22,870 | % |

Fuente: autores del proyecto

Figura # 33 Grafica Tensión vs Deformación 1 kg/cm².



Fuente: autores del proyecto

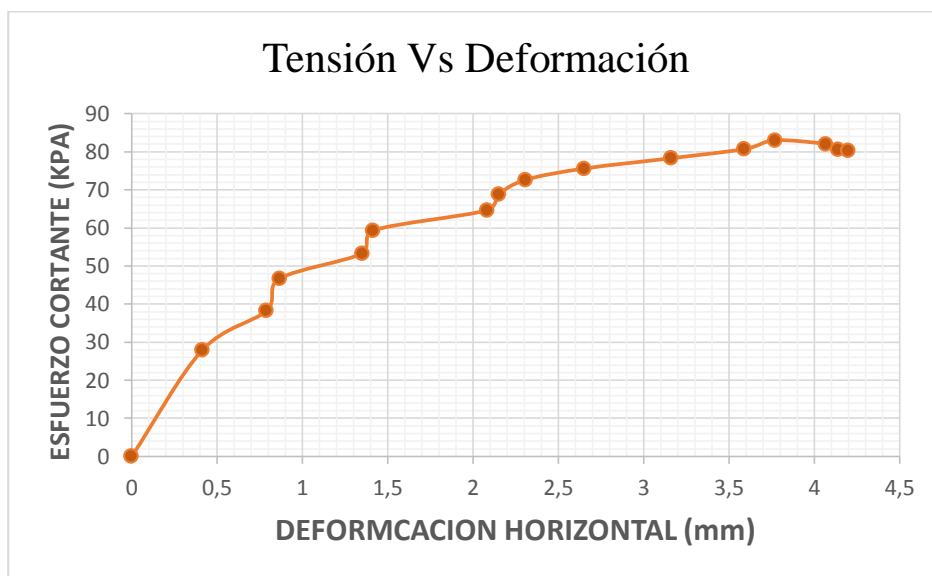
Fuente: autores del proyecto

Tabla # 21 ensayo corte directo 2 kg/cm²

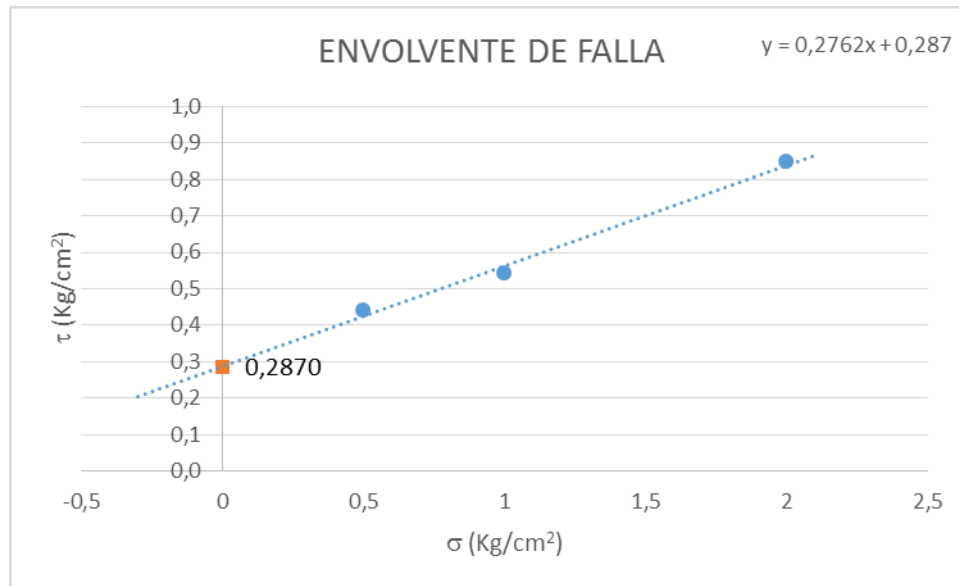
| CORTE DIRECTO 2,0 Kg/cm ² | | | | | Velocidad de corte | | | |
|--------------------------------------|------------------|--------------------|-----------|-------------------|-------------------------------------|--|--------|--------|
| tiempo (seg) | D. vertical (mm) | D. horizontal (mm) | carga (N) | E. cortante (Kpa) | | | 0,5 | mm/min |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | peso de suelo de moldeo + tara | | 54,46 | g |
| 30 | 0,035 | 0,413 | 100,3 | 27,86 | peso de tara | | 26,99 | g |
| 60 | 0,087 | 0,79 | 137,8 | 38,28 | peso de suelo de moldeo seco + tara | | 50,64 | g |
| 90 | 0,144 | 0,868 | 168,2 | 46,72 | peso de la muestra seca | | 23,65 | g |
| 120 | 0,183 | 1,352 | 191,9 | 53,31 | peso de agua | | 3,82 | g |
| 150 | 0,234 | 1,416 | 213,7 | 59,36 | contenido de humedad | | 16,152 | % |
| 180 | 0,271 | 2,083 | 232,7 | 64,64 | peso de suelo de corte + tara | | 68,54 | g |
| 210 | 0,306 | 2,152 | 247,8 | 68,83 | peso de tara | | 26,83 | g |
| 240 | 0,341 | 2,308 | 261,5 | 72,64 | peso de suelo de corte seco + tara | | 60,04 | g |
| 270 | 0,376 | 2,653 | 272,2 | 75,61 | peso de la muestra seca | | 33,21 | g |
| 300 | 0,407 | 3,162 | 281,9 | 78,31 | peso de agua | | 8,5 | g |
| 330 | 0,437 | 3,591 | 290,6 | 80,72 | contenido de humedad | | 25,595 | % |
| 360 | 0,466 | 3,77 | 298,9 | 83,03 | | | | |
| 390 | 0,494 | 4,068 | 295,3 | 82,03 | | | | |
| 410 | 0,522 | 4,14 | 290 | 80,56 | | | | |
| 440 | 0,548 | 4,2 | 289 | 80,28 | | | | |

Fuente: autores del proyecto

Figura # 35 Grafica Tensión vs Deformación 2 kg/cm².



Fuente: autores del proyecto.

Figura # 36 grafica envolvente de falla.

Fuente: autores del proyecto

Tabla # 22 datos de los 3 puntos de cortes

| | | |
|---------------------|-----------|--------------------|
| $\phi =$ | 15,4 | ρ |
| $C =$ | 0,2870 | Kg/cm ² |
| $\gamma =$ | 1,9466863 | g/cm ³ |
| $\gamma_d =$ | 1,562861 | g/cm ³ |
| ω (moldeo) = | 15,63 | % |
| ω (corte) = | 24,56 | % |

Fuente: autores del proyecto

7.4.1 Ensayo de Corte Directo Suelo + STASOIL + CEMENTO

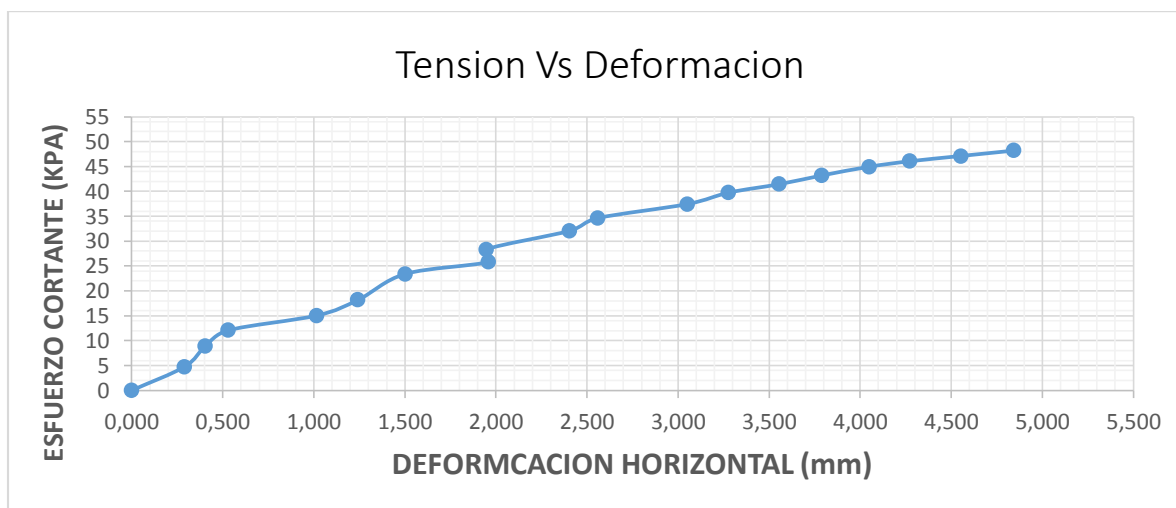
Este ensayo se realizó por medio de la norma INV E-154-13 que tiene por objeto determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada por medio de una deformación realizada a un suelo a una velocidad controlada, cerca un plano de corte.

Tabla # 23 ensayo corte directo suelo + STASOIL+ cemento 0.5 kg/cm²

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | | | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | |
|---|------------------|--------------------|-----------|-------------------|--|--|--------|--------|
| | | | | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | |
| CORTE DIRECTO 0,5 Kg/cm ² | | | | | Velocidad de corte | | 0,5 | mm/min |
| tiempo (seg) | D. vertical (mm) | D. horizontal (mm) | carga (N) | E. cortante (Kpa) | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 30 | 0,167 | 0,290 | 17,10 | 4,75 | peso de suelo de moldeo + tara | | 76,46 | g |
| 60 | 0,537 | 0,403 | 31,90 | 8,86 | peso de tara | | 20,93 | g |
| 90 | 0,536 | 0,531 | 43,50 | 12,08 | peso de suelo de moldeo seco + tara | | 68,85 | g |
| 120 | 0,536 | 1,017 | 54,20 | 15,06 | peso de la muestra seca | | 47,92 | g |
| 150 | 0,536 | 1,243 | 65,50 | 18,19 | peso de agua | | 7,61 | g |
| 180 | 0,536 | 1,503 | 84,30 | 23,42 | contenido de humedad | | 15,881 | % |
| 210 | 0,536 | 1,960 | 93,00 | 25,83 | peso de suelo de corte + tara | | 82 | g |
| 240 | 0,536 | 1,947 | 102,00 | 28,33 | peso de tara | | 21,06 | g |
| 270 | 0,536 | 2,403 | 115,40 | 32,06 | peso de suelo de corte seco + tara | | 73,21 | g |
| 300 | 0,536 | 2,561 | 124,70 | 34,64 | peso de la muestra seca | | 52,15 | g |
| 330 | 0,536 | 3,051 | 134,80 | 37,44 | peso de agua | | 8,79 | g |
| 360 | 0,536 | 3,278 | 143,10 | 39,75 | contenido de humedad | | 16,855 | % |
| 390 | 0,109 | 3,556 | 149,20 | 41,44 | | | | |
| 410 | 0,033 | 3,789 | 155,50 | 43,194 | | | | |
| 440 | 0,021 | 4,049 | 161,80 | 44,944 | | | | |
| 470 | 0,025 | 4,273 | 165,80 | 46,056 | | | | |
| 500 | 0,018 | 4,553 | 169,60 | 47,111 | | | | |
| 530 | 0,069 | 4,843 | 173,50 | 48,194 | | | | |

Fuente: autores del proyecto.

Figura # 37 Grafica Tensión vs Deformación 0.5 kg/cm² + SSC.



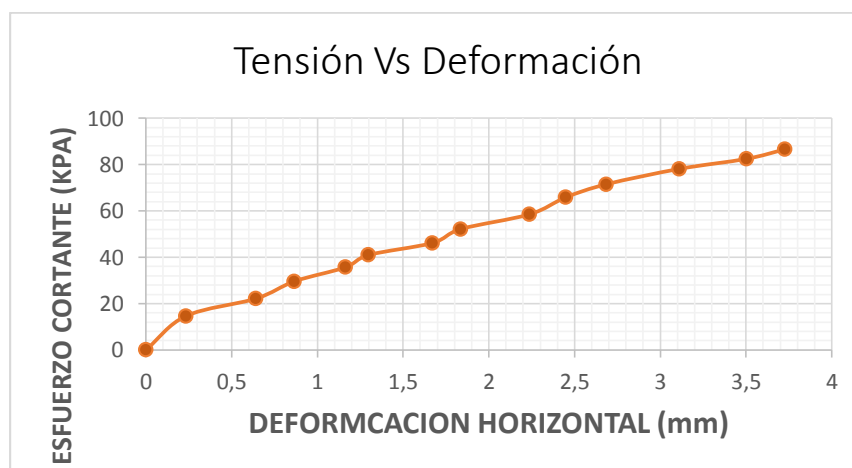
Fuente: autores del proyecto.

Tabla # 24 ensayo corte directo suelo + STASOIL+ cemento 1 kg/cm²

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | | | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | |
|---|------------------|--------------------|-----------|-------------------|--|--------|--------|
| | | | | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | |
| CORTE DIRECTO 1,0 Kg/cm ² | | | | | Velocidad de corte | 0,5 | mm/min |
| tiempo (seg) | D. vertical (mm) | D. horizontal (mm) | carga (N) | E. cortante (Kpa) | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | peso de suelo de moldeo + tara | 56,81 | g |
| 30 | 0,05 | 0,234 | 52,8 | 14,67 | peso de tara | 18,93 | g |
| 60 | 0,042 | 0,643 | 79,9 | 22,19 | peso de suelo de moldeo seco + tara | 51,63 | g |
| 90 | 0,037 | 0,867 | 106,7 | 29,64 | peso de la muestra seca | 32,7 | g |
| 120 | 0,03 | 1,164 | 128,4 | 35,67 | peso de agua | 5,18 | g |
| 150 | 0,029 | 1,298 | 147,5 | 40,97 | contenido de humedad | 15,841 | % |
| 180 | 0,03 | 1,671 | 166,2 | 46,17 | peso de suelo de corte + tara | 71,43 | g |
| 210 | 0,023 | 1,837 | 187,9 | 52,19 | peso de tara | 21,16 | g |
| 240 | 0,027 | 2,237 | 210,7 | 58,53 | peso de suelo de corte seco + tara | 64,73 | g |
| 270 | 0,02 | 2,449 | 237,1 | 65,86 | peso de la muestra seca | 43,57 | g |
| 300 | 0,023 | 2,687 | 257,5 | 71,53 | peso de agua | 6,7 | g |
| 330 | 0,021 | 3,112 | 281,3 | 78,14 | contenido de humedad | 15,378 | % |
| 360 | 0,011 | 3,503 | 296,900 | 82,47 | | | |
| 390 | 0,017 | 3,727 | 311,600 | 86,56 | | | |

Fuente: autores del proyecto.

Figura # 38 Grafica Tensión vs Deformación 1 kg/cm² + SSC.

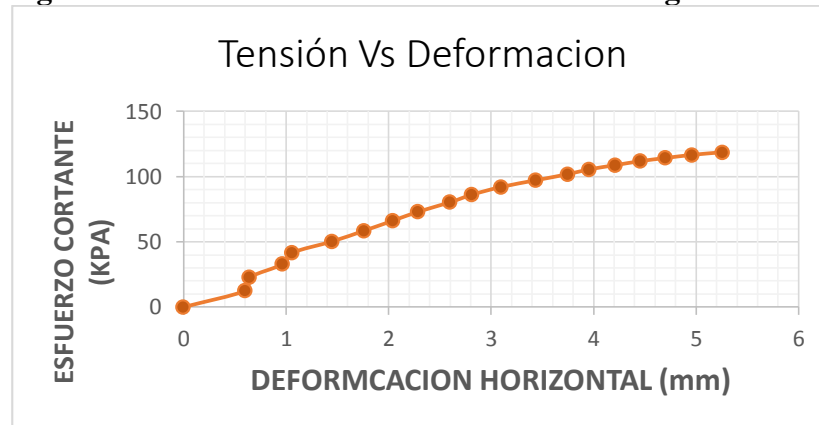


Fuente: autores del proyecto.

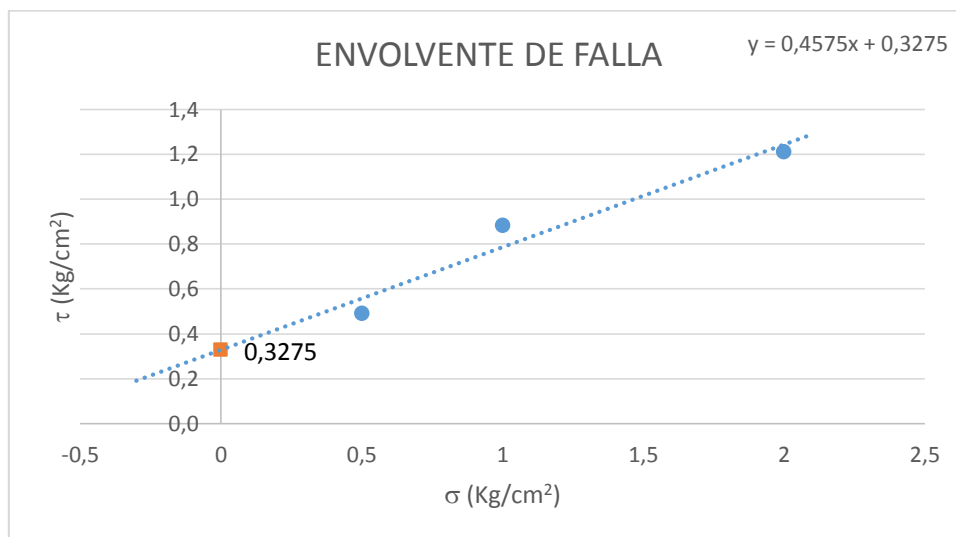
Tabla # 25 ensayo corte directo suelo + STASOIL+ cemento 2 kg/cm²

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | | | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | |
|---|------------------|--------------------|-----------|-------------------|--|--|--------|--------|
| | | | | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | |
| CORTE DIRECTO 2,0 Kg/cm ² | | | | | Velocidad de corte | | 0,5 | mm/min |
| tiempo (seg) | D. vertical (mm) | D. horizontal (mm) | carga (N) | E. cortante (Kpa) | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | peso de suelo de moldeo + tara | | 42,43 | g |
| 30 | 0,1 | 0,600 | 45,1 | 12,53 | peso de tara | | 21,47 | g |
| 60 | 0,18 | 0,645 | 81,9 | 22,75 | peso de suelo de moldeo seco + tara | | 39,03 | g |
| 90 | 0,4 | 0,968 | 118,4 | 32,89 | peso de la muestra seca | | 17,56 | g |
| 120 | 0,426 | 1,061 | 150 | 41,67 | peso de agua | | 3,4 | g |
| 150 | 0,42 | 1,450 | 181,2 | 50,33 | contenido de humedad | | 19,362 | % |
| 180 | 0,403 | 1,760 | 210,7 | 58,53 | peso de suelo de corte + tara | | 84,36 | g |
| 210 | 0,38 | 2,045 | 238,7 | 66,31 | peso de tara | | 20,79 | g |
| 240 | 0,366 | 2,290 | 263,2 | 73,11 | peso de suelo de corte seco + tara | | 74,84 | g |
| 270 | 0,348 | 2,600 | 289,2 | 80,33 | peso de la muestra seca | | 54,05 | g |
| 300 | 0,313 | 2,811 | 310 | 86,11 | peso de agua | | 9,52 | g |
| 330 | 0,97 | 3,098 | 331,4 | 92,06 | contenido de humedad | | 17,613 | % |
| 360 | 0,313 | 3,440 | 350,1 | 97,25 | | | | |
| 390 | 0,294 | 3,750 | 366,8 | 101,89 | | | | |
| 410 | 0,286 | 3,960 | 380,2 | 105,61 | | | | |
| 440 | 0,286 | 4,211 | 391,6 | 108,78 | | | | |
| 470 | 0,217 | 4,460 | 402,9 | 111,92 | | | | |
| 500 | 0,266 | 4,700 | 411,3 | 114,25 | | | | |
| 530 | 0,256 | 4,960 | 420 | 116,67 | | | | |
| 560 | 0,256 | 5,260 | 427,3 | 118,69 | | | | |

Fuente: autores del proyecto.

Figura # 39 Grafica Tensión vs Deformación 2 kg/cm² + SSC

Fuente: autores del proyecto.

Figura # 40 Grafica envolvente de falla para los 3 puntos de corte

Fuente: autores del proyecto.

Tabla # 26 tabla datos de los 3 cortes suelo + STASOIL + cemento


| | | |
|---------------------|-----------|--------------------|
| $\phi =$ | 24,6 | $^{\circ}$ |
| $C =$ | 0,3275 | Kg/cm ² |
| $\gamma =$ | 2,0346388 | g/cm ³ |
| $\gamma_d =$ | 1,744743 | g/cm ³ |
| ω (moldeo) = | 17,03 | % |
| ω (corte) = | 16,62 | % |

Fuente: autores del proyecto

7.5 Ensayo de CBR.

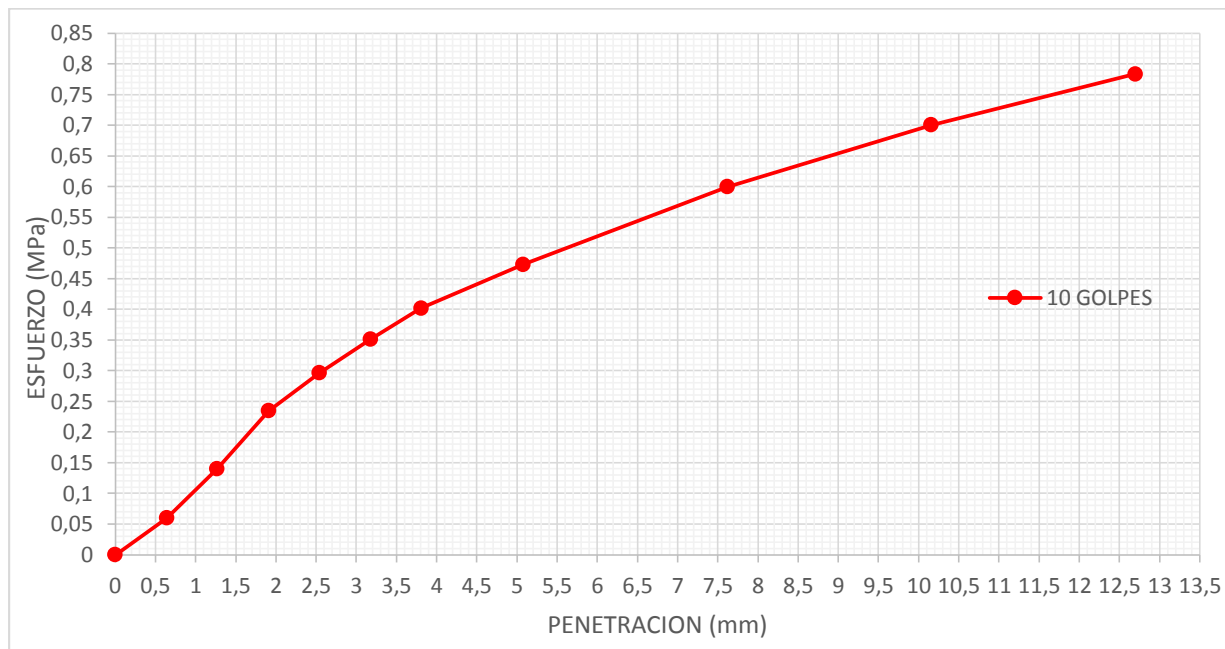
Estos ensayos se realizaron basados en la norma INV E-148-13 denominada CBR de suelos compactados en el laboratorio que permite hallar el índice de resistencia, el cual se realizaron 3 ensayos el primero con 10 golpes, el segundo con 25 golpes y el tercero con 56 golpes.

Tabla # 27 Datos ensayo CBR # 1.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | | | | | | |
|---|-------------|--|-----------------------|------------------------|--|--------------------|-----------------------|--|------------------|----------|--|
| | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | | | | | | |
| CALIFORNIA BEARING RATIO | | | | Densidad Maxima | | 1,9 | | g/cm ³ | | | |
| | | | | Humedad Optima | | 12 | | % | | | |
| MOLDE | | 21 | | 26 | | 20 | | | | | |
| N° capas | | 5 | | 5 | | 5 | | | | | |
| N° de golpes por capa | | 10 | | 25 | | 56 | | | | | |
| diametro molde | | 153 mm | | 153 mm | | 152 mm | | | | | |
| altura molde con piso falso | | 117 mm | | 115 mm | | 117 mm | | | | | |
| peso de molde | | 8740 g | | 8714 g | | 7349 g | | | | | |
| peso de molde + suelo | | 12499 g | | 12795 g | | 11784 g | | | | | |
| tiempo acumulado | | molde N° 21 | | | molde N° 26 | | | molde N° 20 | | | |
| | | lectura de deformacion (lineas) | Expansión | | lectura de deformacion (lineas) | Expansión | | lectura de deformacion (lineas) | Expansión | | |
| Hs | días | | mm | % | | mm | % | | mm | % | |
| 0 | 0 | 1,778 | 1,778 | 1,52 | 1,6764 | 1,6764 | 1,46 | 0,508 | 0,508 | 0,43 | |
| 24 | 1 | 1,5494 | 0,2286 | 0,20 | 3,556 | 1,8796 | 1,63 | 1,5494 | 1,0414 | 0,89 | |
| 48 | 2 | 1,6002 | 0,1778 | 0,15 | 4,572 | 2,8956 | 2,5 | 1,6256 | 1,1176 | 0,96 | |
| 72 | 3 | 1,6764 | 0,1016 | 0,09 | 5,334 | 3,6576 | 3,2 | 1,7272 | 1,2192 | 1,04 | |
| 96 | 4 | 1,7272 | 0,0508 | 0,04 | 6,1214 | 4,445 | 3,87 | 1,778 | 1,27 | 1,09 | |
| VELOCIDAD DE PENETRACION = 0,05 in/min | | | | | | | | | | | |
| PENETRACION | | molde N° 21 | | molde N° 26 | | molde N° 20 | | | | | |
| mm | in | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | | | | |
| 0,64 | 0,025 | 26 | 0,060 | 7 | 0,016 | 9 | 0,021 | | | | |
| 1,27 | 0,05 | 61 | 0,140 | 25 | 0,057 | 25 | 0,057 | | | | |
| 1,91 | 0,075 | 102 | 0,234 | 69 | 0,159 | 98 | 0,225 | | | | |
| 2,54 | 0,1 | 129 | 0,296 | 147 | 0,338 | 264 | 0,606 | | | | |
| 3,18 | 0,125 | 153 | 0,351 | 215 | 0,494 | 450 | 1,034 | | | | |
| 3,81 | 0,15 | 175 | 0,402 | 288 | 0,662 | 656 | 1,507 | | | | |
| 5,08 | 0,2 | 206 | 0,473 | 405 | 0,930 | 990 | 2,274 | | | | |
| 7,62 | 0,3 | 261 | 0,600 | 557 | 1,280 | 1445 | 3,320 | | | | |
| 10,16 | 0,4 | 305 | 0,701 | 681 | 1,564 | 1784 | 4,098 | | | | |
| 12,7 | 0,5 | 341 | 0,783 | 793 | 1,822 | 2109 | 4,845 | | | | |
| MOLDE | | 21 | | 26 | | 20 | | | | | |
| peso tara | | 20,98 g | | 21,26 g | | 21,07 g | | | | | |
| peso tara + suelo humedo | | 44,02 g | | 86,09 g | | 72,81 g | | | | | |
| peso tara + suelo seco | | 39,59 g | | 74,33 g | | 64,2 g | | | | | |
| peso suelo seco | | 18,61 g | | 53,07 g | | 43,13 g | | | | | |
| peso agua | | 4,43 g | | 11,76 g | | 8,61 g | | | | | |
| contenido humedad | | 23,80 % | | 22,16 % | | 19,96 % | | | | | |

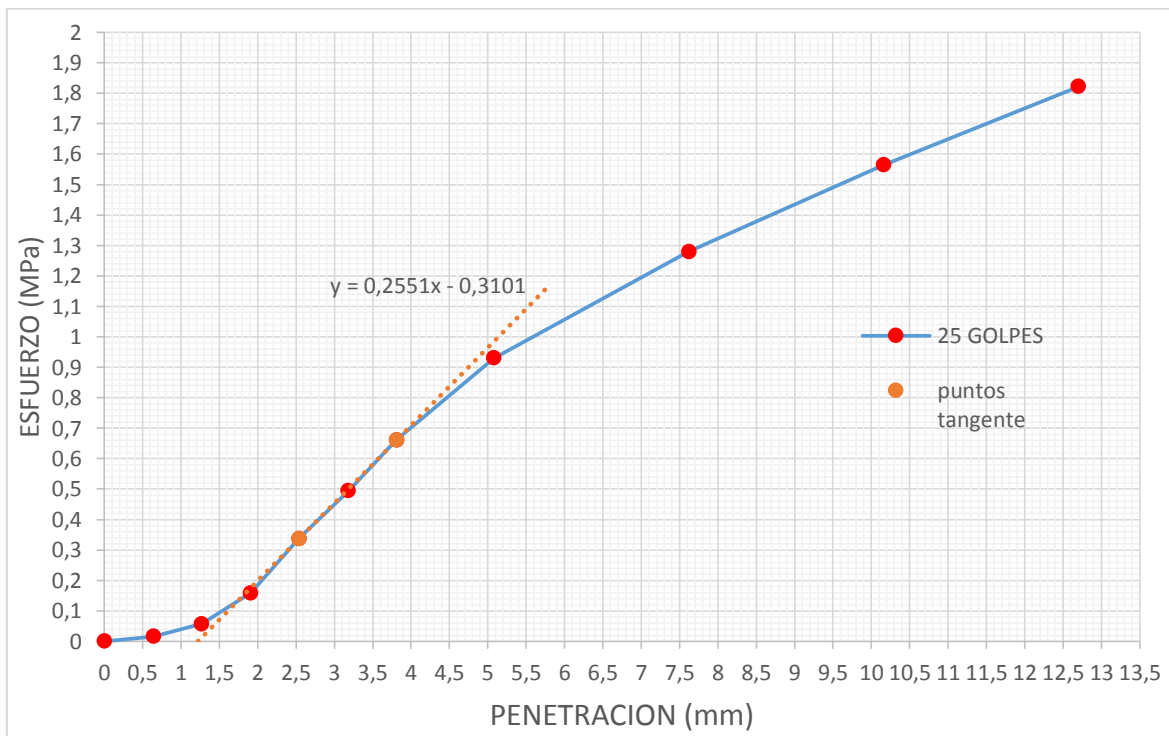
Fuente: autores del proyecto

Figura # 41 Grafica esfuerzo vs penetración 10 golpes ensayo de CBR # 1.



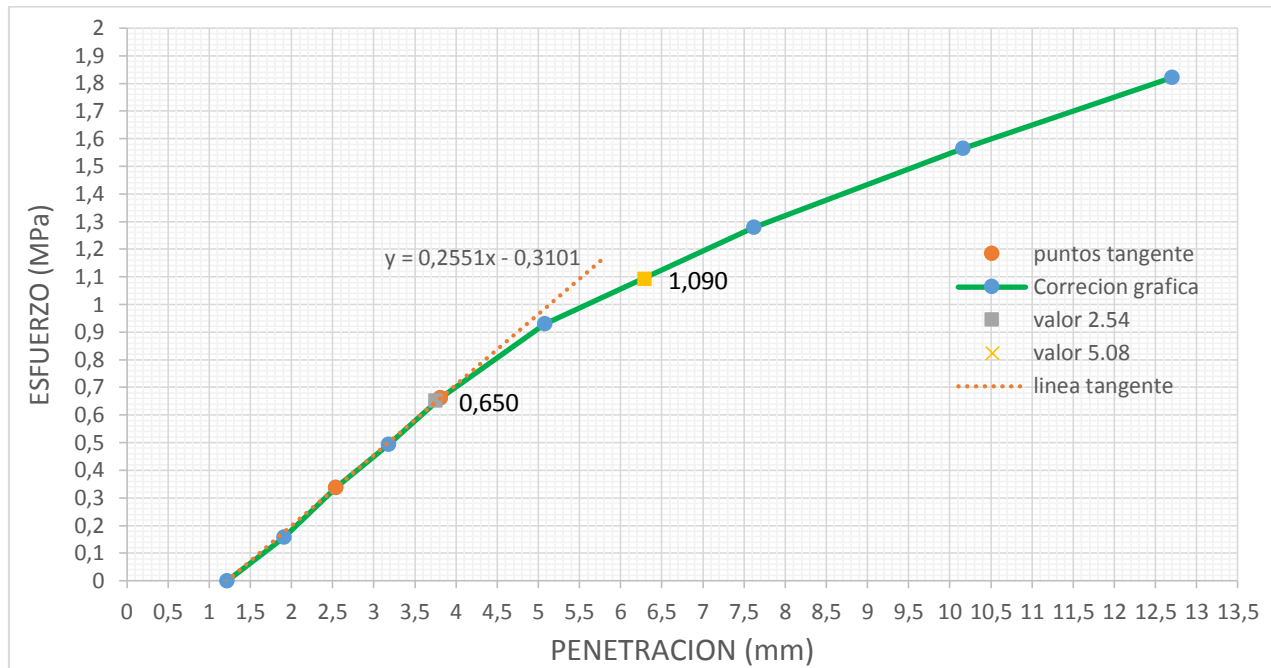
Fuente: autores del proyecto

Figura # 42 Grafica esfuerzo vs penetración 25 golpes ensayo de CBR # 1.



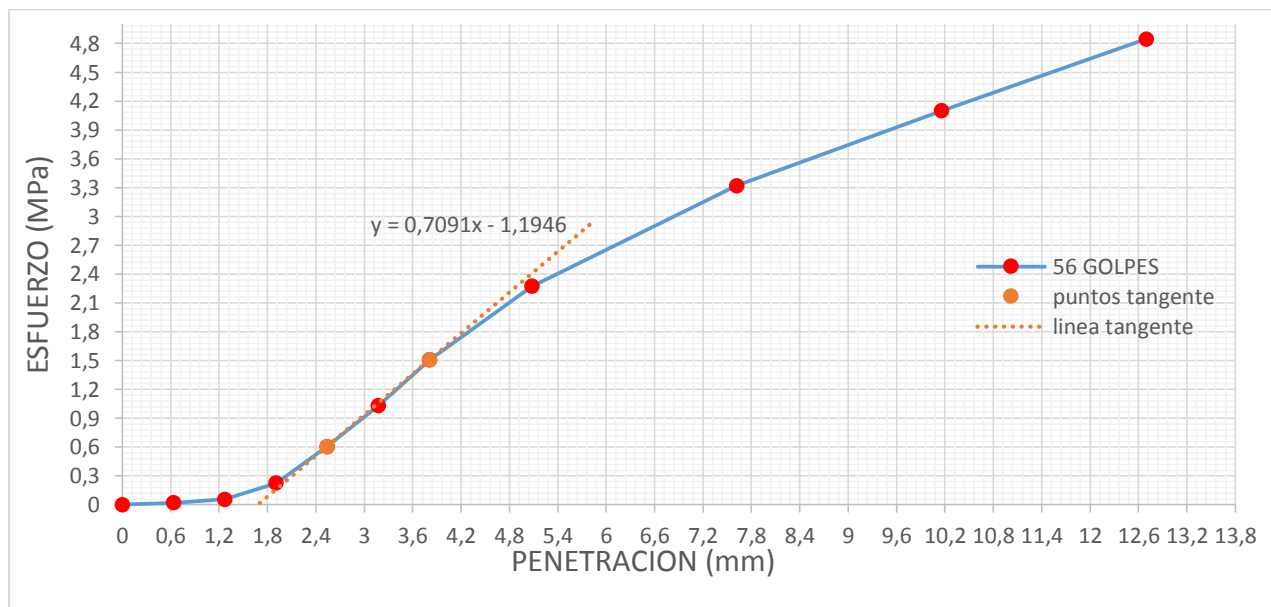
Fuente: autores del proyecto

Figura # 43 Grafica esfuerzo vs penetración corrección 25 golpes ensayo de CBR # 1.



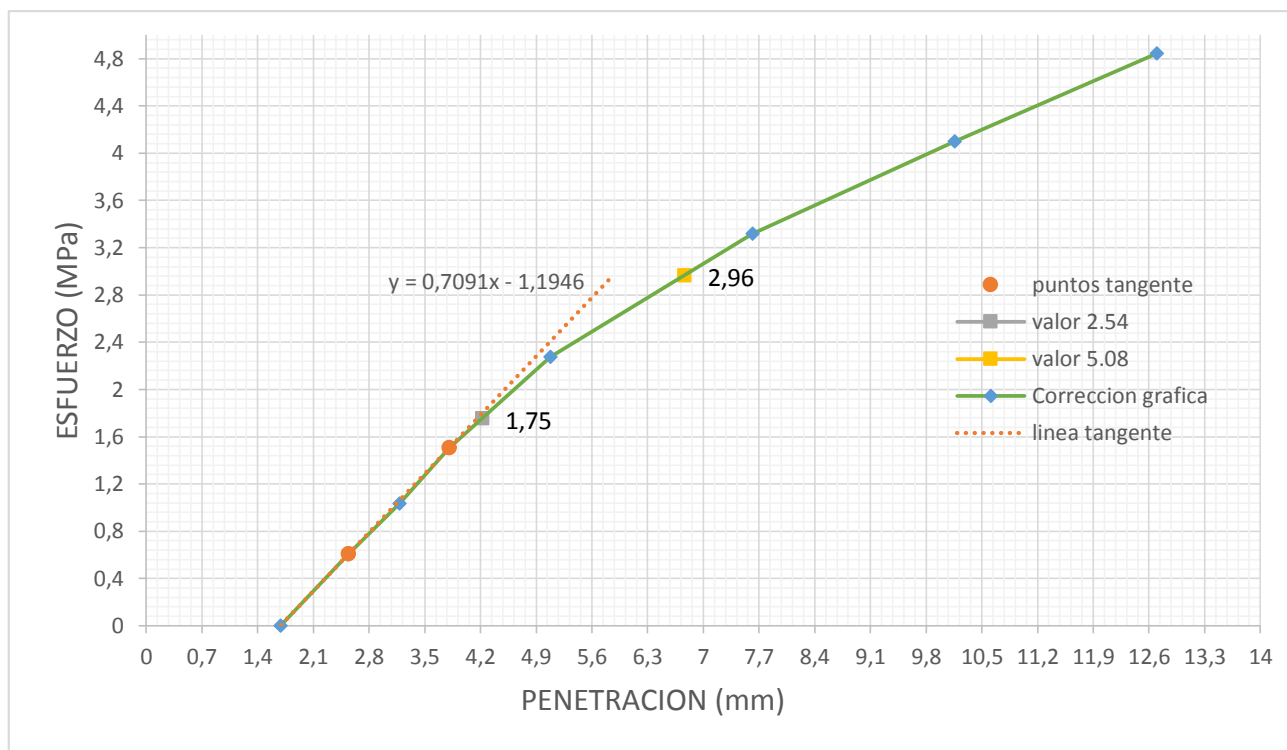
Fuente: autores del proyecto

Figura # 44 Grafica esfuerzo vs penetración 56 golpes ensayo de CBR # 1.



Fuente: autores del proyecto

Figura # 45 Grafica esfuerzo vs penetración corrección 56 golpes ensayo de CBR # 1.

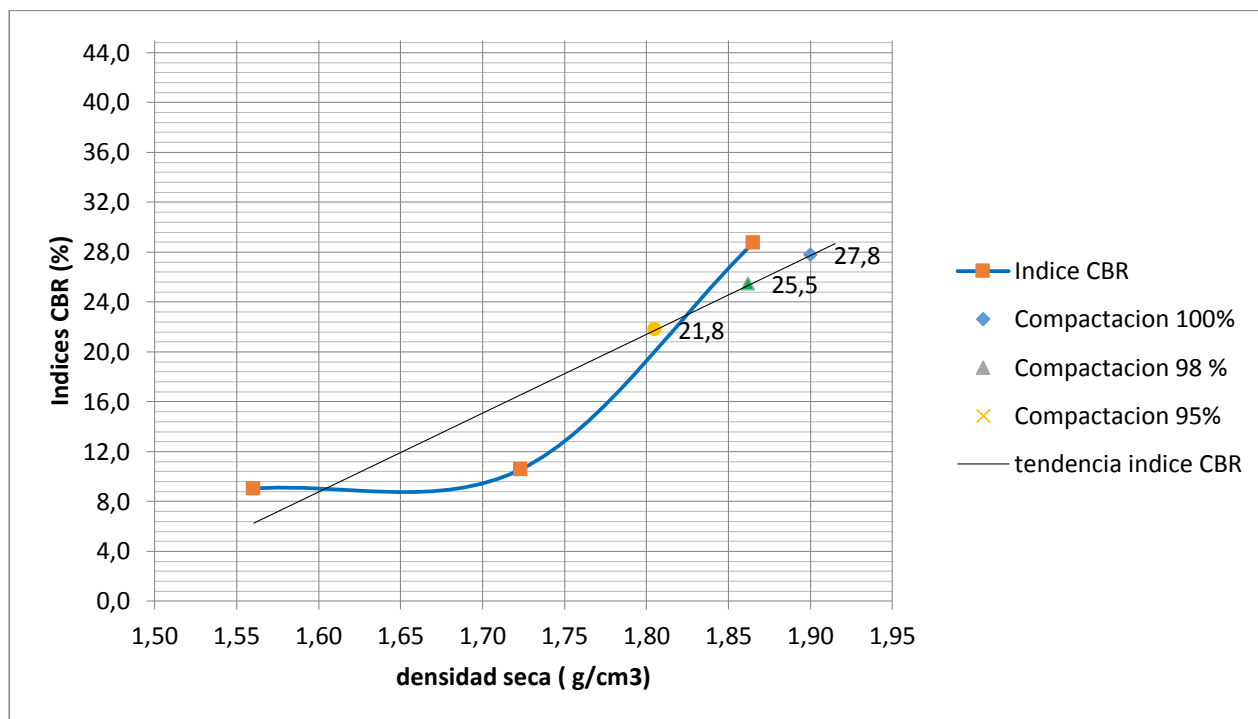


Fuente: autores del proyecto

Tabla # 28 Datos para el cálculo de Índice de CBR # 1


| carga patron (Mpa) | % CBR (10 golpes) | % CBR (25 golpes) | % CBR (56 golpes) |
|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 6,9 | 4,295 | 9,420 | 25,362 |
| 10,3 | 9,033 | 10,583 | 28,738 |
| molde | 21 | 26 | 20 |
| diametro (cm) | 183,854 | 183,854 | 181,458 |
| altura (cm) | 11,7 | 11,5 | 11,7 |
| volumen (cm ³) | 2151,090 | 2114,319 | 2123,063 |
| peso suelo (g) | 3759 | 4081 | 4435 |
| densidad humeda | 1,747 | 1,930 | 2,089 |
| densidad seca | 1,560 | 1,723 | 1,865 |

Fuente: autores del proyecto.

Figura # 46 Grafica Índice CBR/ Densidad.

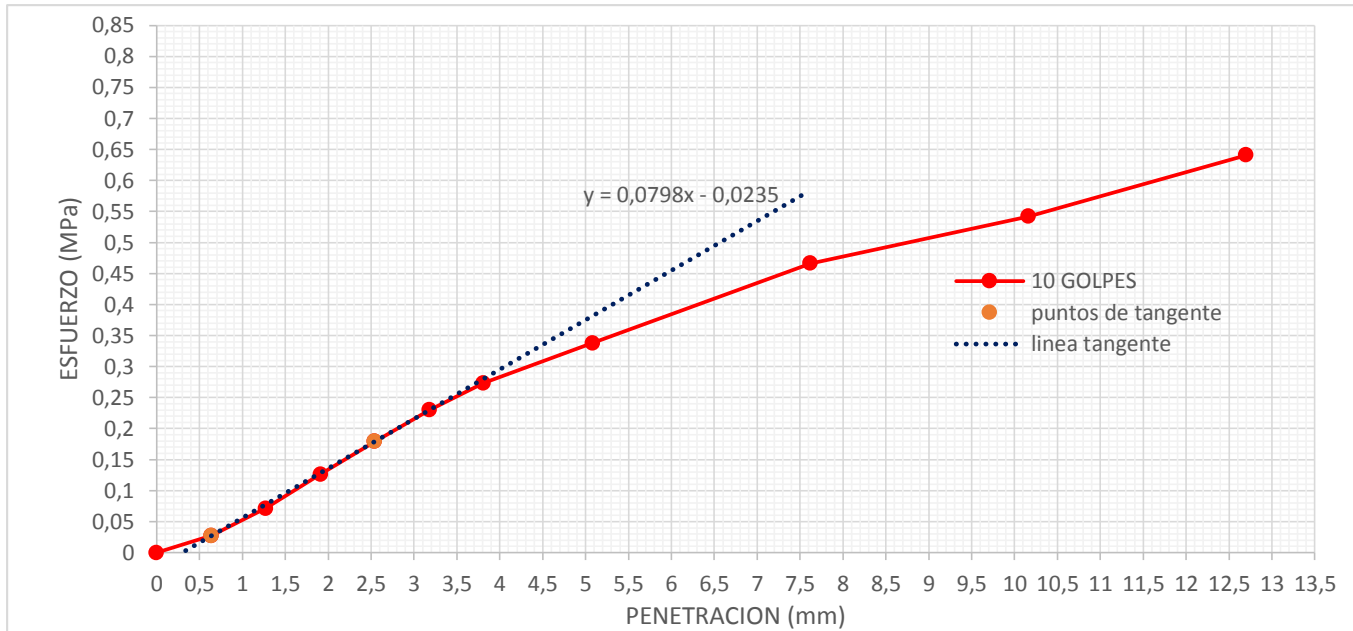
Fuente: autores del proyecto.

Tabla # 29 Datos ensayo CBR # 2.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | | | | | | |
|---|-------------|--|-----------------------|-------------------|--|--------------------|-----------------------|--|------------------|----------|--|
| | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | | | | | | |
| CALIFORNIA BEARING RATIO | | | | | Densidad Maxima | | 1,9 | g/cm3 | | | |
| | | | | | Humedad Optima | | 12 | % | | | |
| MOLDE | | 23 | | | 2 | | | 10 | | | |
| N° capas | | 5 | | | 5 | | | 5 | | | |
| N° de golpes por capa | | 10 | | | 25 | | | 56 | | | |
| diametro molde | | 155 | mm | | 156 | mm | | 155 | mm | | |
| altura molde con piso falso | | 116 | mm | | 116 | mm | | 116 | mm | | |
| peso de molde | | 8531 | g | | 8671 | g | | 8839 | g | | |
| peso de molde + suelo | | 12409 | g | | 12773 | g | | 13368 | g | | |
| tiempo acumulado | | molde N° 23 | | | molde N° 2 | | | molde N° 10 | | | |
| | | lectura de deformacion (mm) | Expansión | | lectura de deformacion (lineas) | Expansión | | lectura de deformacion (lineas) | Expansión | | |
| Hs | días | | mm | % | | mm | % | | mm | % | |
| 0 | 0 | 0,254 | 0,254 | 0,22 | 0,127 | 0,127 | 0,11 | 0,127 | 0,127 | 0,11 | |
| 24 | 1 | 2,0828 | 1,8288 | 1,58 | 2,2352 | 2,1082 | 1,82 | 1,0795 | 0,9525 | 0,82 | |
| 48 | 2 | 2,2352 | 1,9812 | 1,71 | 2,3368 | 2,2098 | 1,9 | 1,2192 | 1,0922 | 0,94 | |
| 72 | 3 | 2,286 | 2,032 | 1,75 | 2,413 | 2,286 | 2,0 | 1,27 | 1,143 | 0,99 | |
| 96 | 4 | 2,3368 | 2,0828 | 1,80 | 2,5146 | 2,3876 | 2,06 | 1,2954 | 1,1684 | 1,01 | |
| VELOCIDAD DE PENETRACION = 0,05 in/min | | | | | | | | | | | |
| PENETRACION | | molde N° 23 | | molde N° 2 | | molde N° 10 | | | | | |
| mm | in | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | | | | |
| 0,64 | 0,025 | 12 | 0,028 | 7 | 0,016 | 20 | 0,046 | | | | |
| 1,27 | 0,05 | 31 | 0,071 | 25 | 0,057 | 84 | 0,193 | | | | |
| 1,91 | 0,075 | 55 | 0,126 | 41 | 0,094 | 202 | 0,464 | | | | |
| 2,54 | 0,1 | 78 | 0,179 | 76 | 0,175 | 410 | 0,942 | | | | |
| 3,18 | 0,125 | 100 | 0,230 | 120 | 0,276 | 591 | 1,358 | | | | |
| 3,81 | 0,15 | 119 | 0,273 | 173 | 0,397 | 773 | 1,776 | | | | |
| 5,08 | 0,2 | 147 | 0,338 | 249 | 0,572 | 1062 | 2,440 | | | | |
| 7,62 | 0,3 | 203 | 0,466 | 364 | 0,836 | 1400 | 3,216 | | | | |
| 10,16 | 0,4 | 236 | 0,542 | 455 | 1,045 | 1685 | 3,871 | | | | |
| 12,7 | 0,5 | 279 | 0,641 | 542 | 1,245 | 1930 | 4,434 | | | | |
| MOLDE | | 23 | | 2 | | 10 | | | | | |
| peso tara | | 18,93 | g | | 21,72 | g | | 21,45 | g | | |
| peso tara + suelo humedo | | 58,76 | g | | 73,78 | g | | 53,57 | g | | |
| peso tara + suelo seco | | 50,59 | g | | 63,9 | g | | 48,32 | g | | |
| peso suelo seco | | 31,66 | g | | 42,18 | g | | 26,87 | g | | |
| peso agua | | 8,17 | g | | 9,88 | g | | 5,25 | g | | |
| contenido humedad | | 25,81 | % | | 23,42 | % | | 19,54 | % | | |

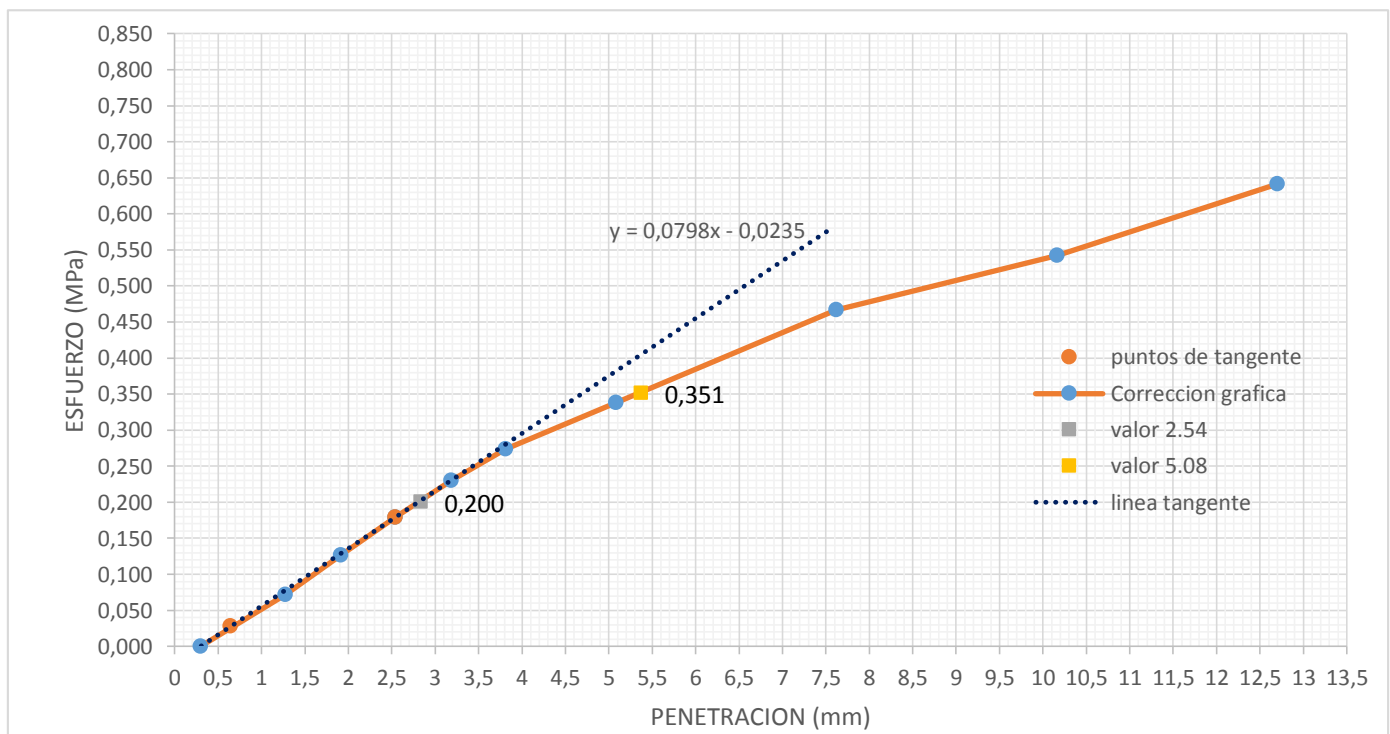
Fuente: autores del proyecto

Figura # 47 Grafica esfuerzo vs penetración 10 golpes ensayo de CBR # 2.



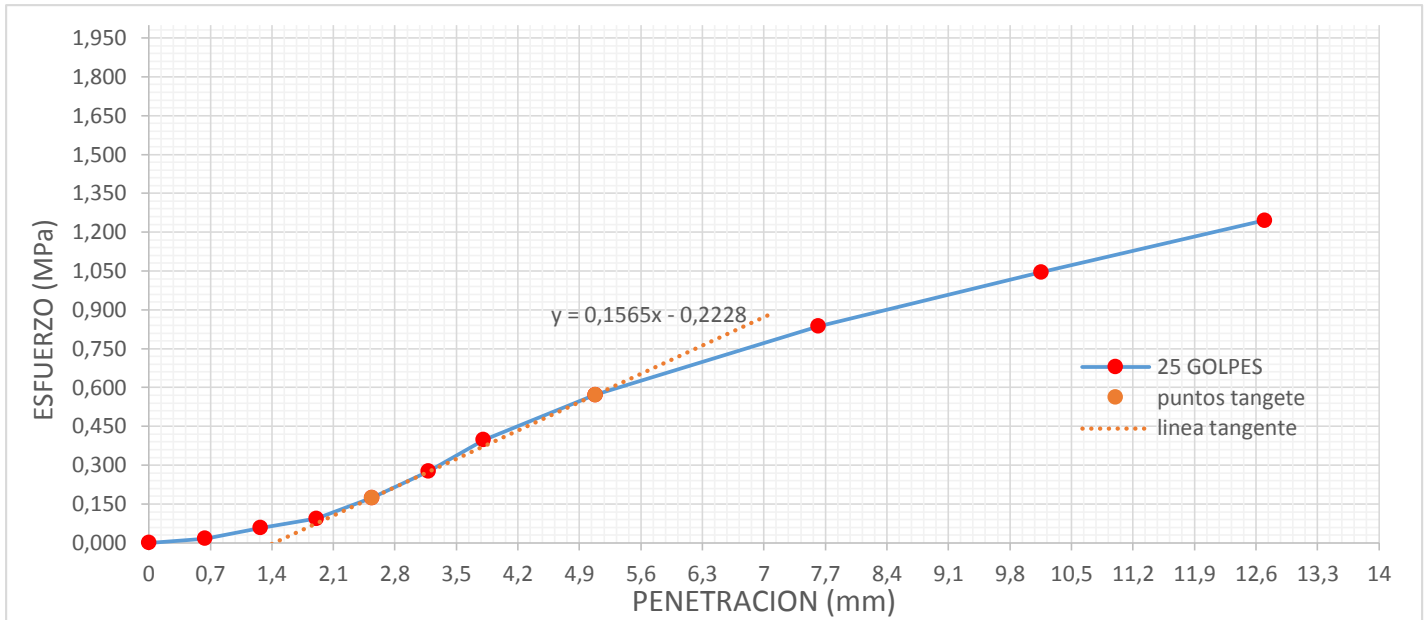
Fuente: autores del proyecto

Figura # 48 Grafica esfuerzo vs penetración corrección 10 golpes ensayo de CBR # 2.



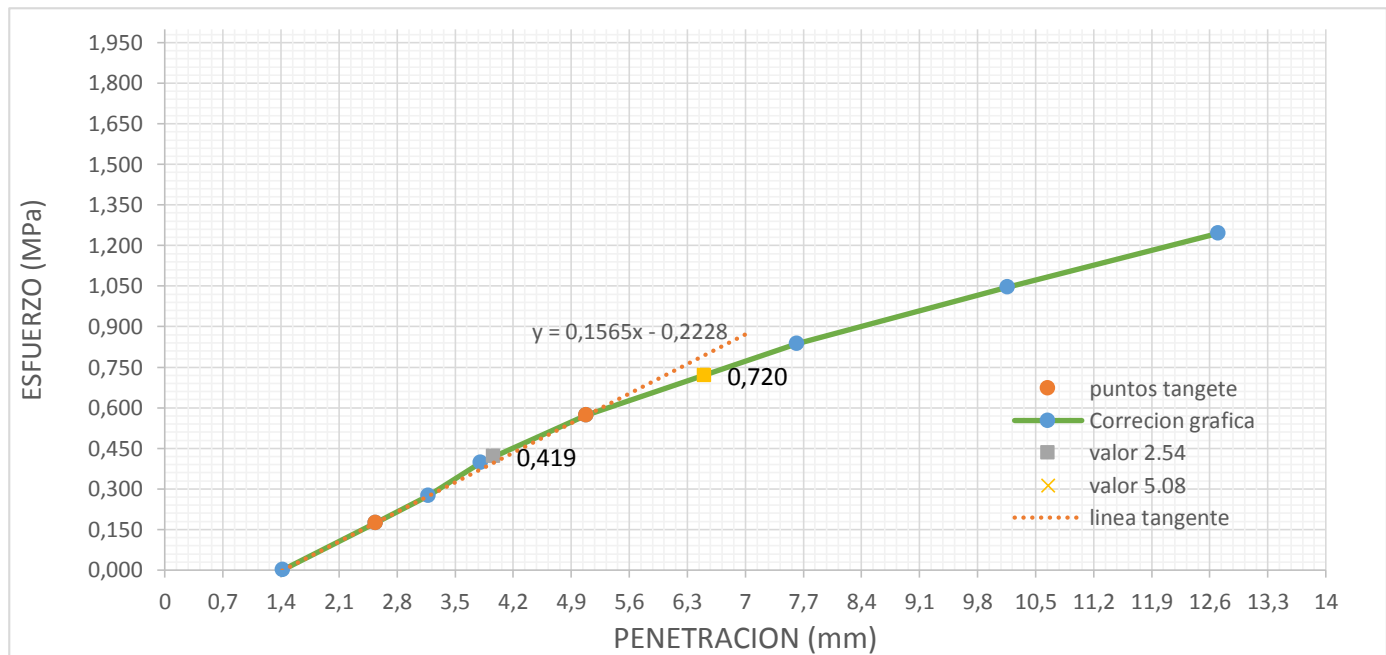
Fuente: autores del proyecto

Figura # 49 Grafica esfuerzo vs penetración 25 golpes ensayo de CBR # 2.



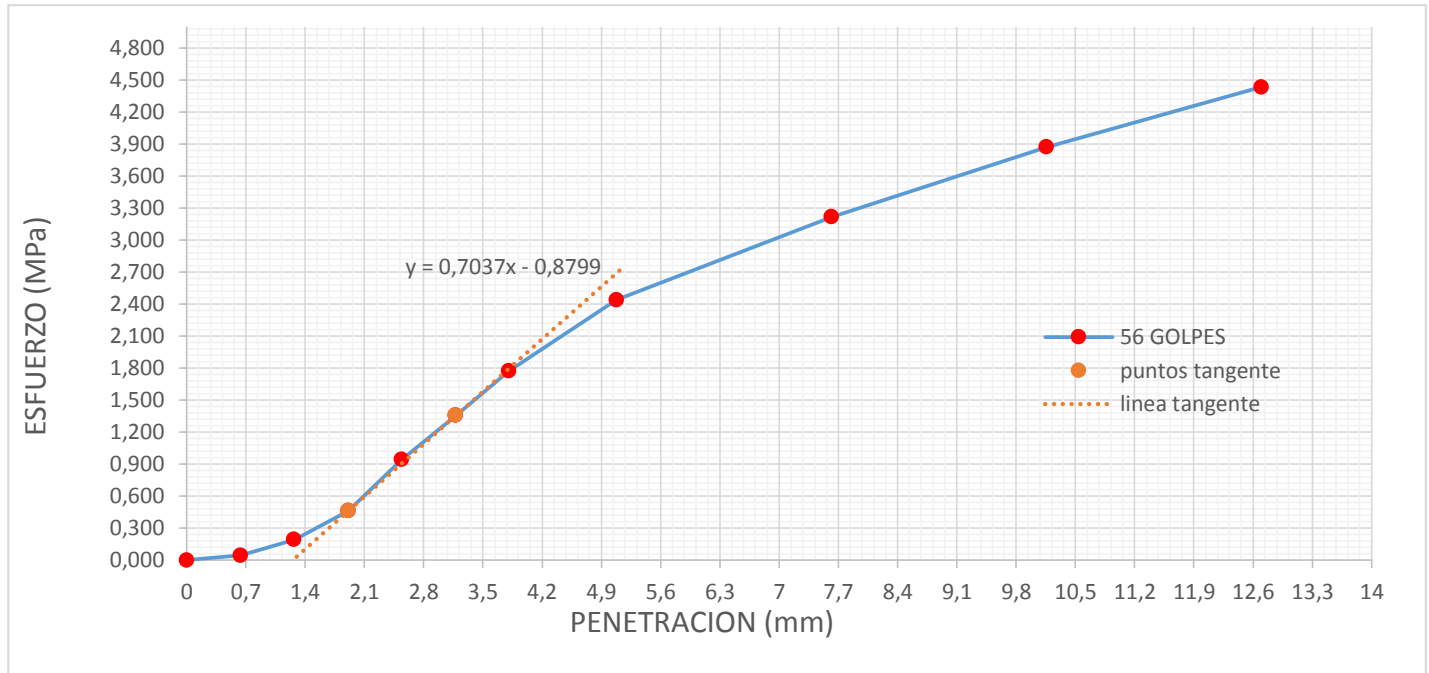
Fuente: autores del proyecto

Figura # 50 Grafica esfuerzo vs penetración corrección 25 golpes ensayo de CBR # 2.



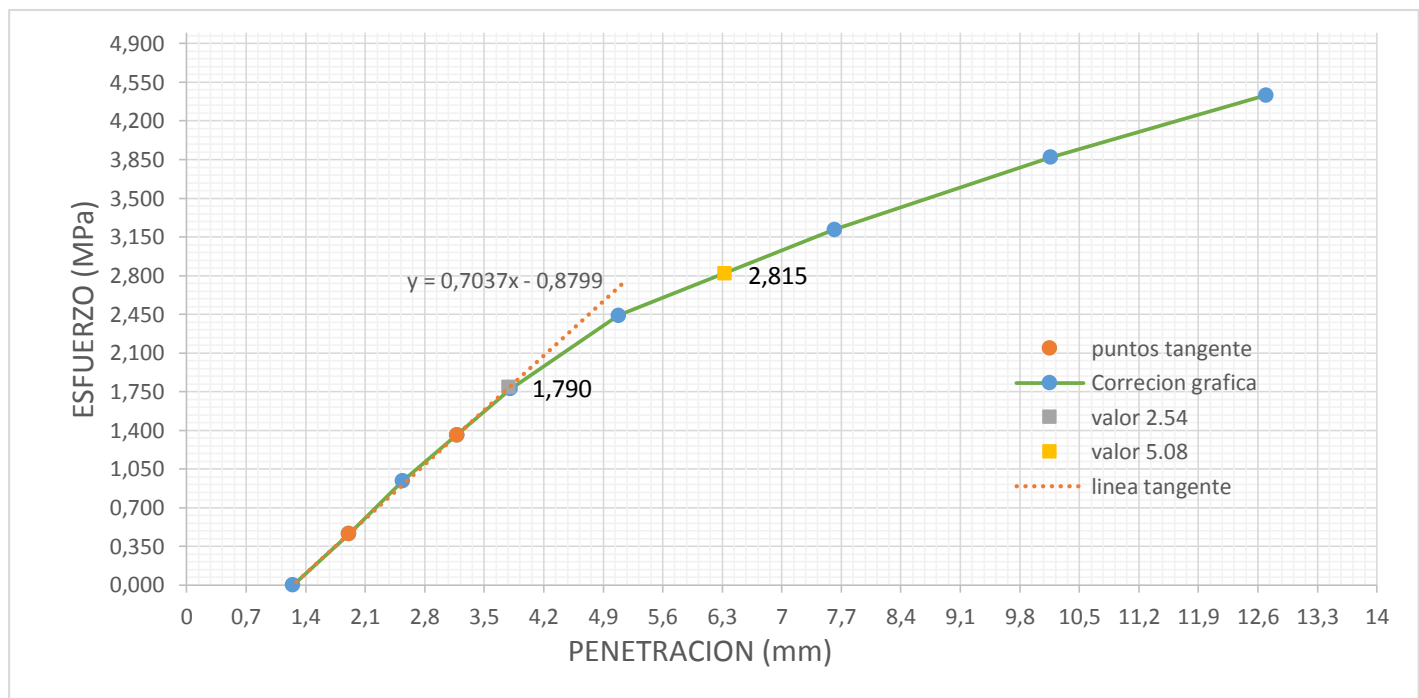
Fuente: autores del proyecto

Figura # 51 Grafica esfuerzo vs penetración 56 golpes ensayo de CBR # 2.



Fuente: autores del proyecto

Figura # 52 Grafica esfuerzo vs penetración corrección 56 golpes ensayo de CBR # 2.



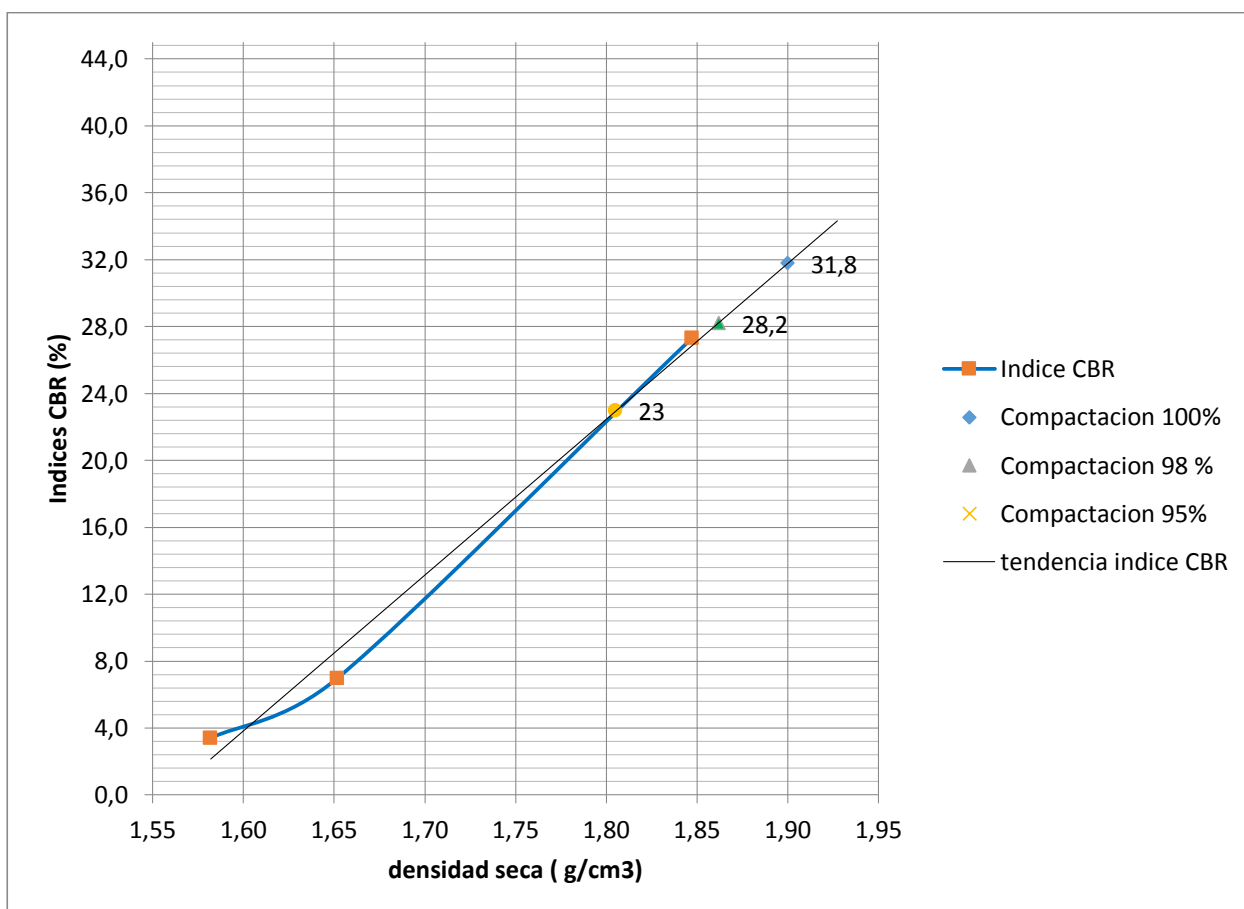
Fuente: autores del proyecto

Tabla # 30 Datos para el cálculo de Índice de CBR # 2

| carga patron (Mpa) | % CBR (10 golpes) | % CBR (25 golpes) | % CBR (56 golpes) |
|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 6,9 | 2,899 | 6,072 | 25,942 |
| 10,3 | 3,408 | 6,990 | 27,330 |
| molde | 23 | 2 | 10 |
| diametro (cm) | 188,692 | 191,134 | 188,692 |
| altura (cm) | 11,6 | 11,6 | 11,6 |
| volumen (cm ³) | 2188,826 | 2217,160 | 2188,826 |
| peso suelo (g) | 3878 | 4102 | 4529 |
| densidad humeda | 1,772 | 1,850 | 2,069 |
| densidad seca | 1,582 | 1,652 | 1,847 |


Fuente: autores del proyecto.

Figura # 53 Grafica Índice CBR/ Densidad.



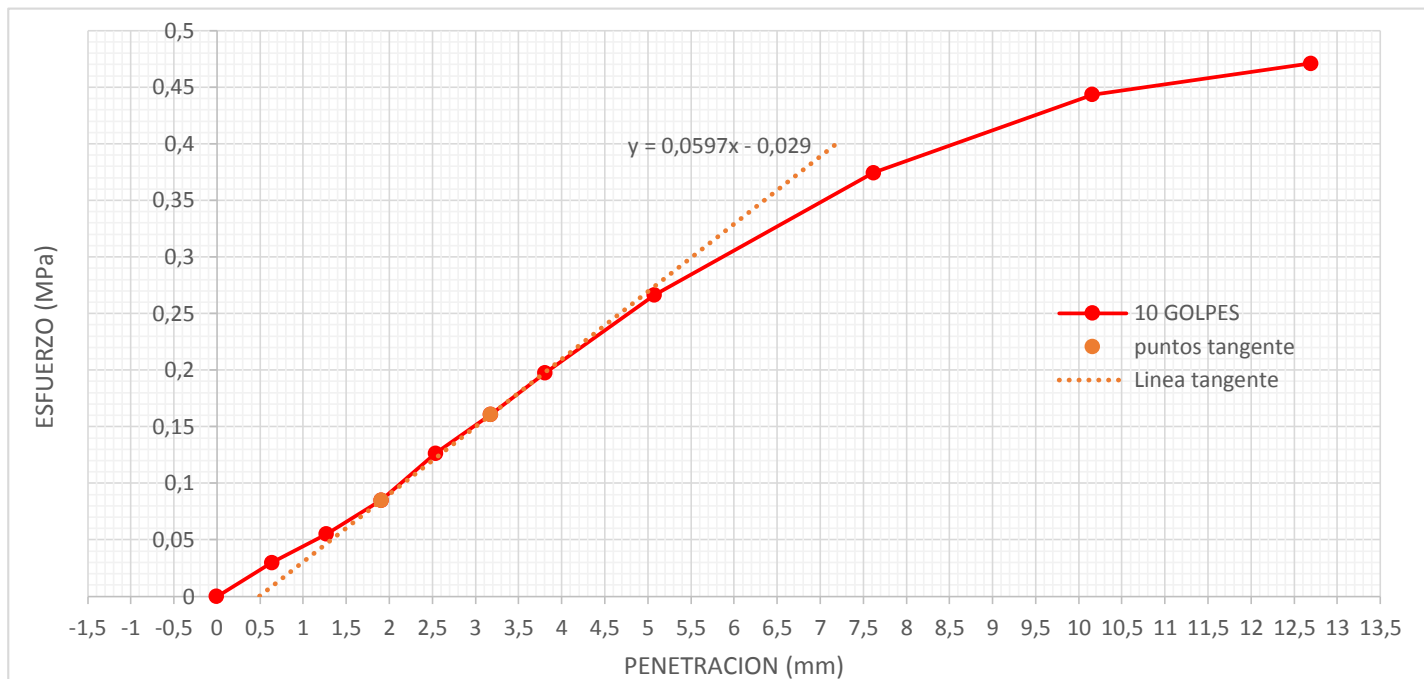
Fuente: autores del proyecto

Tabla # 31 Datos ensayo CBR # 3.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | | | | | |
|---|-------|--|----------------|-----------------|---------------------------------|-------------|-------------------|---------------------------------|-----------|------|
| | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | | | | | |
| CALIFORNIA BEARING RATIO | | | | Densidad Maxima | | 1,9 | g/cm ³ | | | |
| | | | | Humedad Optima | | 12 | % | | | |
| MOLDE | | 8 | | 9 | | 22 | | | | |
| N° capas | | 5 | | 5 | | 5 | | | | |
| N° de golpes por capa | | 10 | | 25 | | 56 | | | | |
| diametro molde | | 156 | mm | 156 | mm | 155 | mm | | | |
| altura molde con piso falso | | 115 | mm | 116,5 | mm | 116 | mm | | | |
| peso de molde | | 8493 | g | 8680 | g | 8631 | g | | | |
| peso de molde + suelo | | 12209 | g | 12854 | g | 13056 | g | | | |
| tiempo acumulado | | molde N° 8 | | | molde N° 9 | | | molde N° 22 | | |
| | | lectura de deformacion (lineas) | Expansión | | lectura de deformacion (lineas) | Expansión | | lectura de deformacion (lineas) | Expansión | |
| Hs | días | | mm | % | | mm | % | | mm | % |
| 0 | 0 | 0,254 | 0,254 | 0,22 | 0,254 | 0,254 | 0,22 | 0 | 0 | 0,00 |
| 24 | 1 | 1,9304 | 1,6764 | 1,46 | 2,3114 | 2,0574 | 1,77 | 1,5494 | 1,5494 | 1,34 |
| 48 | 2 | 2,5654 | 2,3114 | 2,01 | 2,4384 | 2,1844 | 1,9 | 1,4478 | 1,4478 | 1,25 |
| 72 | 3 | 2,6162 | 2,3622 | 2,05 | 2,4892 | 2,2352 | 1,9 | 1,524 | 1,524 | 1,31 |
| 96 | 4 | 0,4064 | 0,1524 | 0,13 | 2,6162 | 2,3622 | 2,03 | 1,6002 | 1,6002 | 1,38 |
| VELOCIDAD DE PENETRACION = 0,05 in/min | | | | | | | | | | |
| PENETRACION | | molde N° 8 | | molde N° 9 | | molde N° 22 | | | | |
| mm | in | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | | | |
| 0,64 | 0,025 | 13 | 0,030 | 20 | 0,046 | 39 | 0,090 | | | |
| 1,27 | 0,05 | 24 | 0,055 | 62 | 0,142 | 106 | 0,244 | | | |
| 1,91 | 0,075 | 37 | 0,085 | 120 | 0,276 | 223 | 0,512 | | | |
| 2,54 | 0,1 | 55 | 0,126 | 195 | 0,448 | 357 | 0,820 | | | |
| 3,18 | 0,125 | 70 | 0,161 | 265 | 0,609 | 505 | 1,160 | | | |
| 3,81 | 0,15 | 86 | 0,198 | 324 | 0,744 | 610 | 1,401 | | | |
| 5,08 | 0,2 | 116 | 0,266 | 429 | 0,986 | 794 | 1,824 | | | |
| 7,62 | 0,3 | 163 | 0,374 | 574 | 1,319 | 1096 | 2,518 | | | |
| 10,16 | 0,4 | 193 | 0,443 | 710 | 1,631 | 1326 | 3,046 | | | |
| 12,7 | 0,5 | 205 | 0,471 | 817 | 1,877 | 1551 | 3,563 | | | |
| MOLDE | | 8 | | 9 | | 22 | | | | |
| peso tara | | 20,73 | g | 20,97 | g | 22,3 | g | | | |
| peso tara + suelo humedo | | 82,36 | g | 59,62 | g | 66,7 | g | | | |
| peso tara + suelo seco | | 70,3 | g | 52,54 | g | 59,34 | g | | | |
| peso suelo seco | | 49,57 | g | 31,57 | g | 37,04 | g | | | |
| peso agua | | 12,06 | g | 7,08 | g | 7,36 | g | | | |
| contenido humedad | | 24,33 | % | 22,43 | % | 19,87 | % | | | |

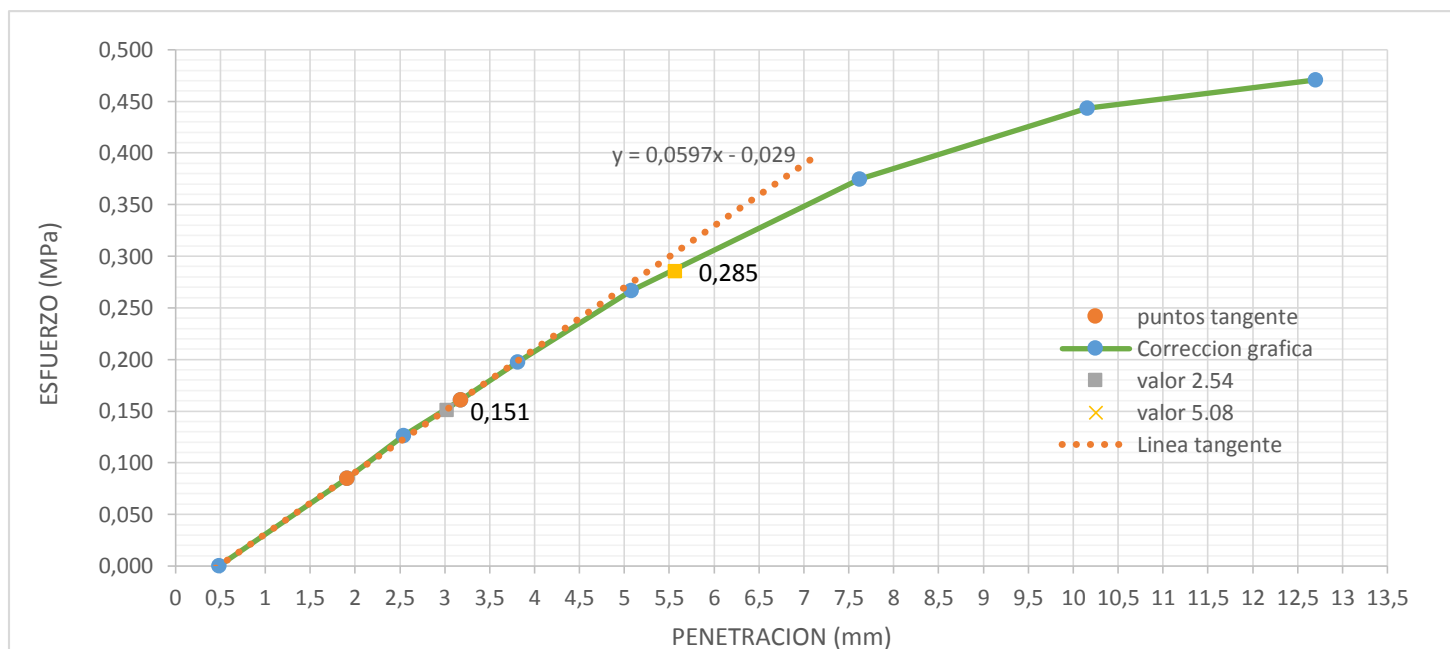
Fuente: autores del proyecto

Figura # 54 Grafica esfuerzo vs penetración 10 golpes ensayo de CBR # 3.



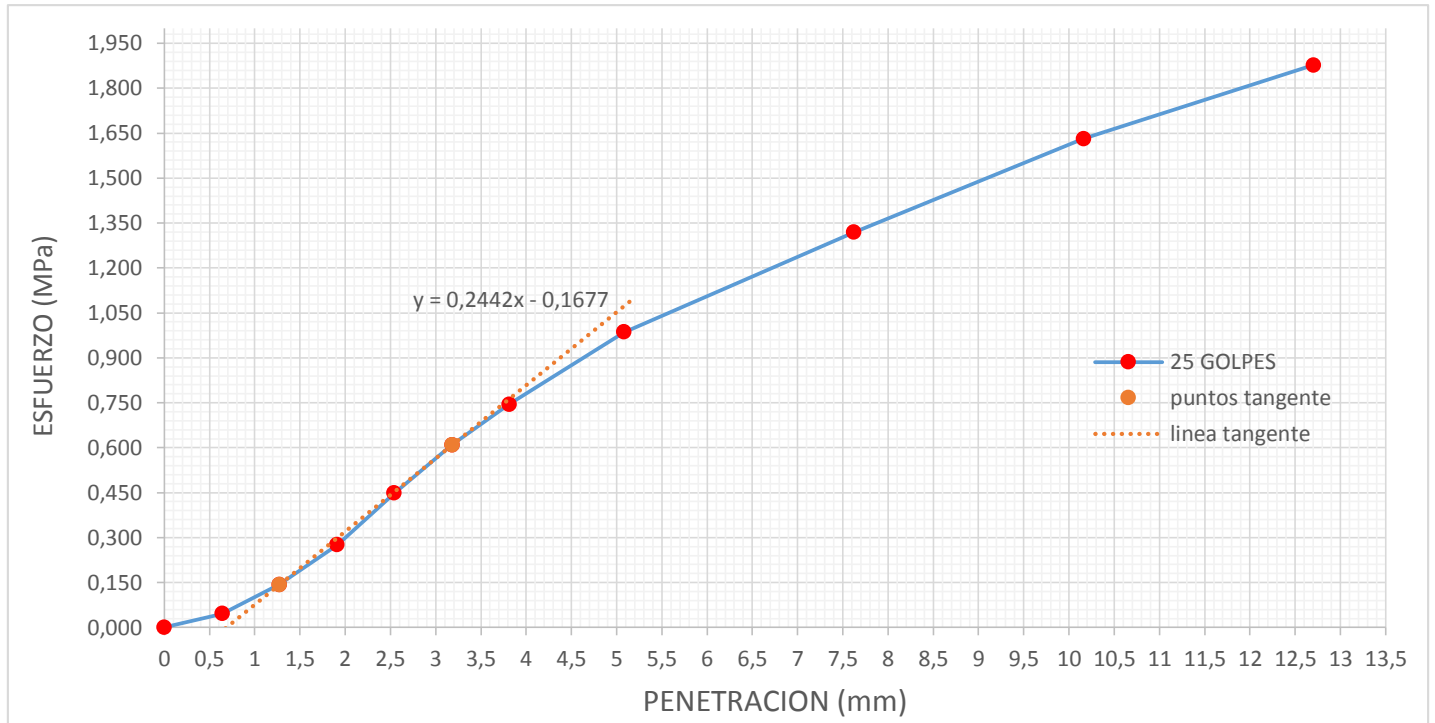
Fuente: autores del proyecto

Figura # 55 Grafica esfuerzo vs penetración corrección 10 golpes ensayo de CBR # 3.



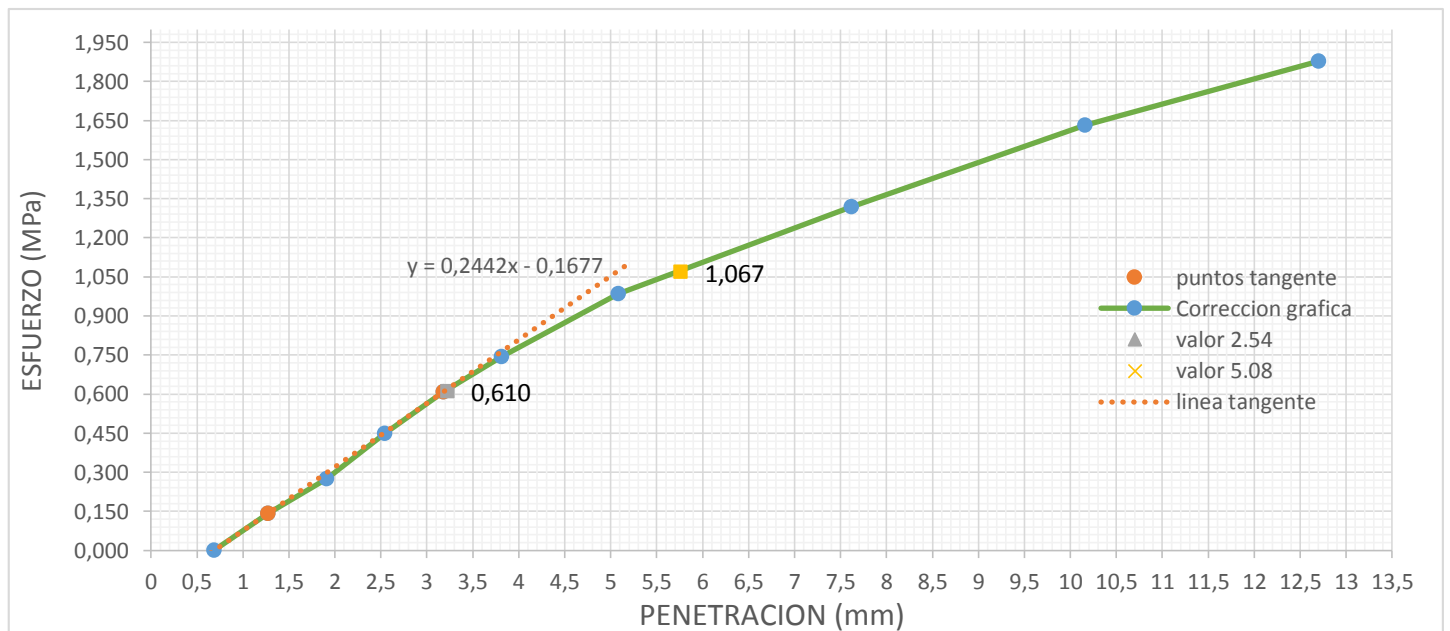
Fuente: autores del proyecto

Figura # 56 Grafica esfuerzo vs penetración 25 golpes ensayo de CBR # 3.



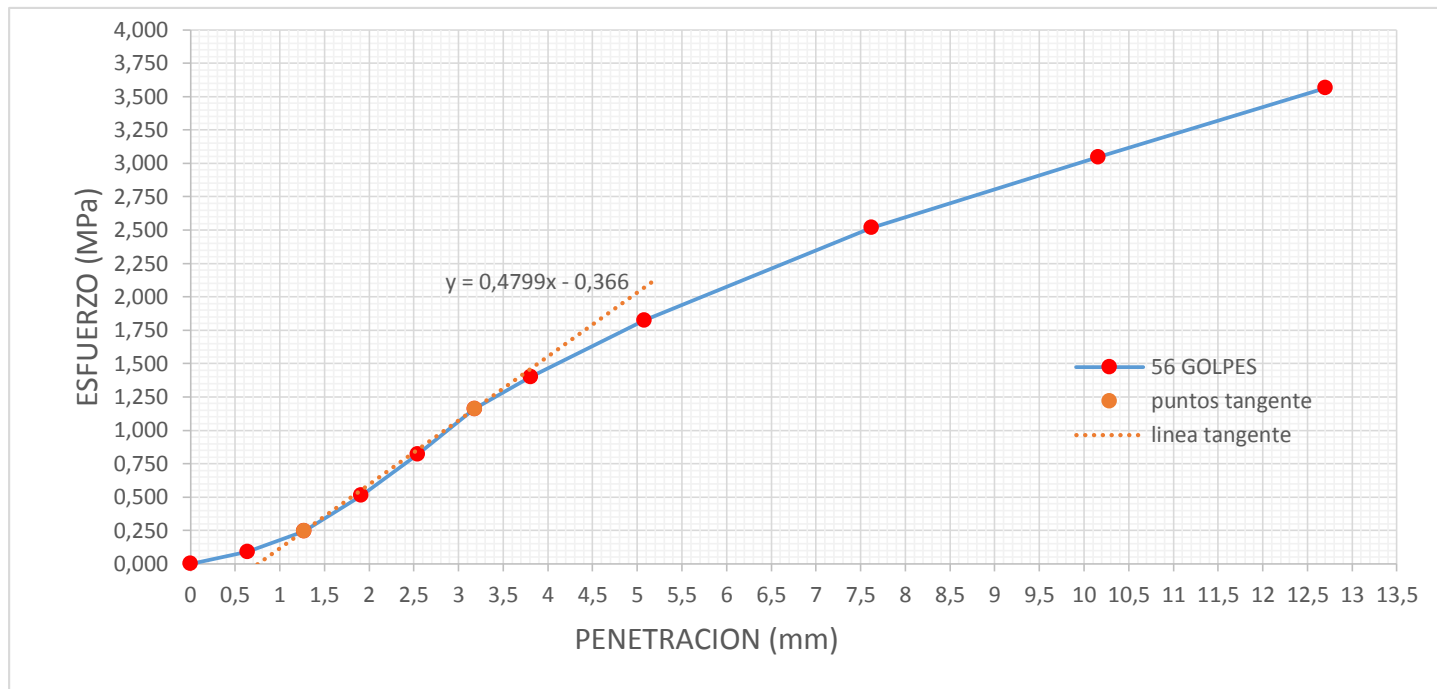
Fuente: autores del proyecto

Figura # 57 Grafica esfuerzo vs penetración corrección 25 golpes ensayo de CBR # 3.



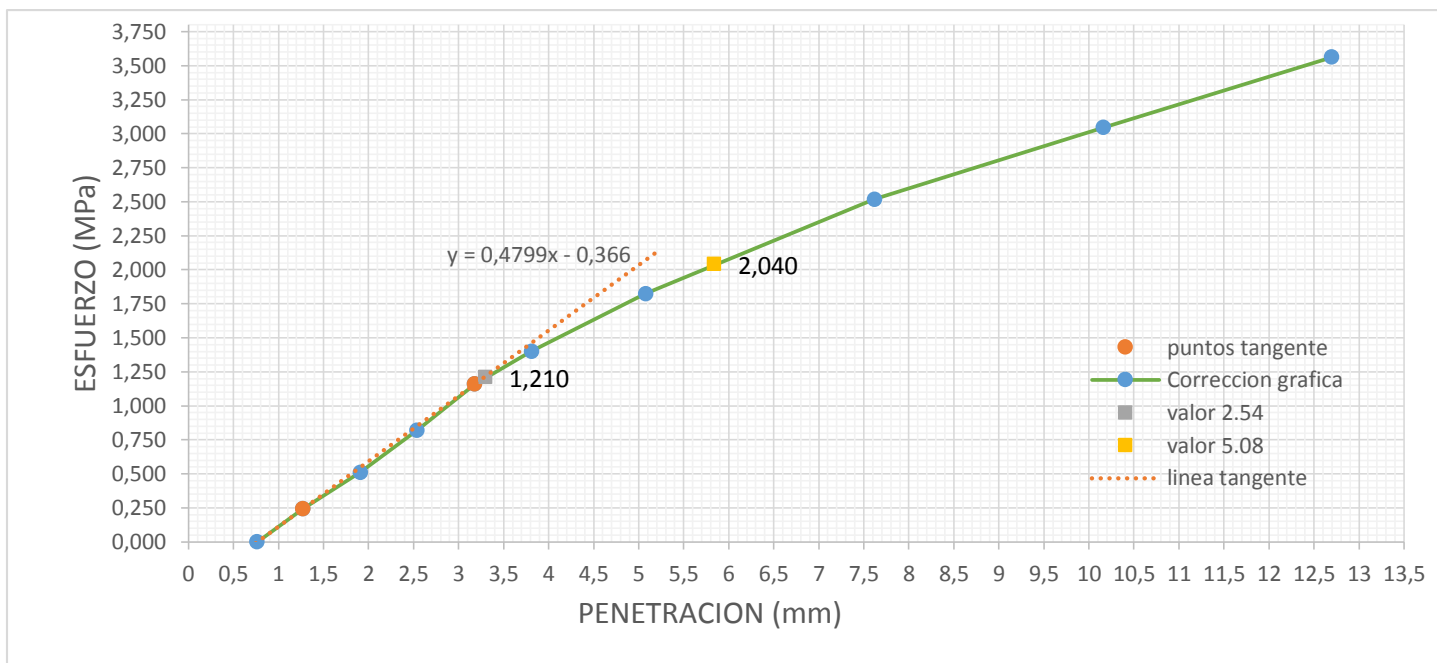
Fuente: autores del proyecto

Figura # 58 Grafica esfuerzo vs penetración 56 golpes ensayo de CBR # 3.



Fuente: autores del proyecto

Figura # 59 Grafica esfuerzo vs penetración corrección 56 golpes ensayo de CBR # 3



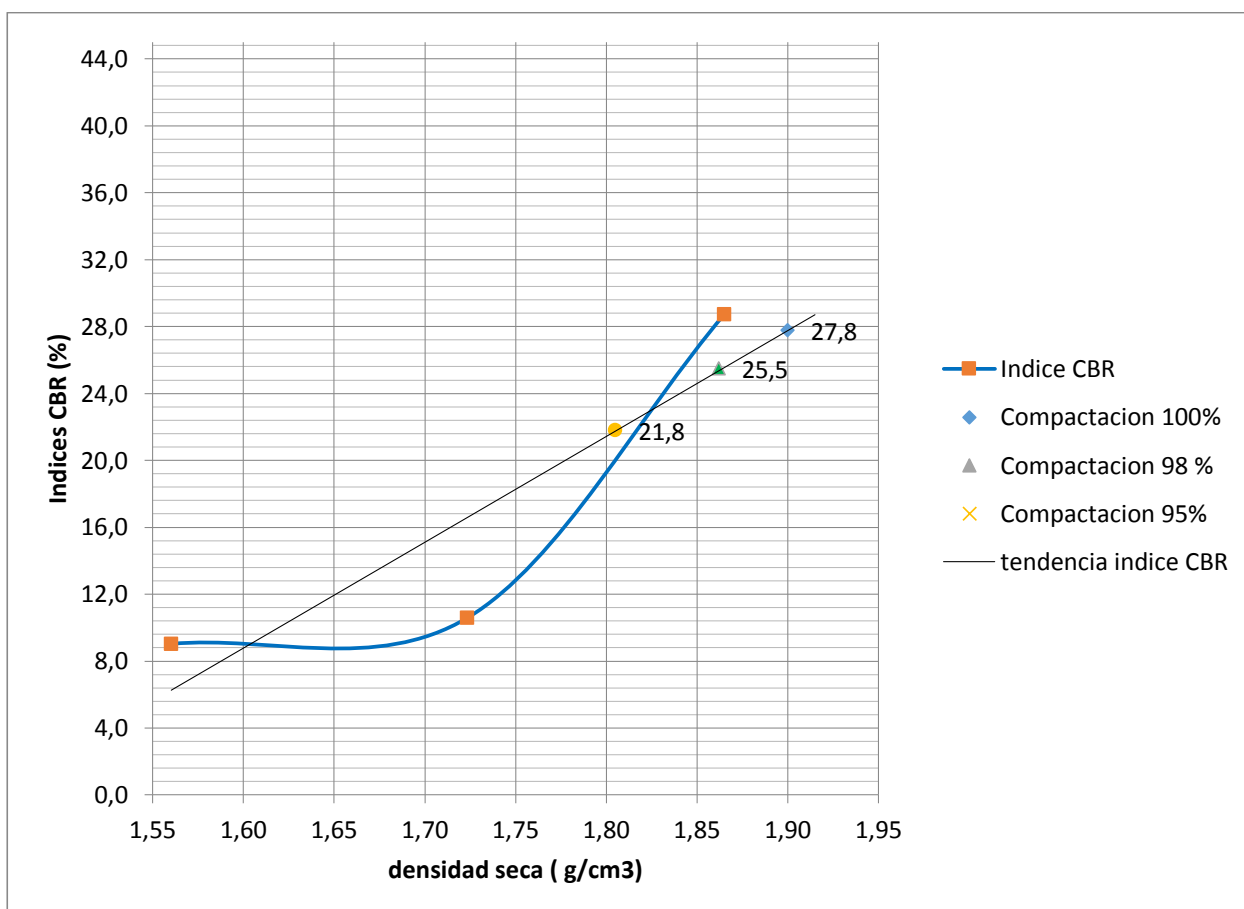
Fuente: autores del proyecto

Tabla # 32 Datos para el cálculo de Índice de CBR 3

| carga patron (Mpa) | % CBR (10 golpes) | % CBR (25 golpes) | % CBR (56 golpes) |
|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 6,9 | 2,188 | 8,841 | 17,536 |
| 10,3 | 2,767 | 10,359 | 19,806 |
| molde | 8 | 9 | 22 |
| diametro (cm) | 191,134 | 191,134 | 188,692 |
| altura (cm) | 11,5 | 11,65 | 11,6 |
| volumen (cm ³) | 2198,047 | 2226,717 | 2188,826 |
| peso suelo (g) | 3716 | 4174 | 4425 |
| densidad humeda | 1,691 | 1,875 | 2,022 |
| densidad seca | 1,509 | 1,674 | 1,805 |

Fuente: autores del proyecto.


Figura # 60 Grafica Índice CBR/ Densidad.



Fuente: autores del proyecto.

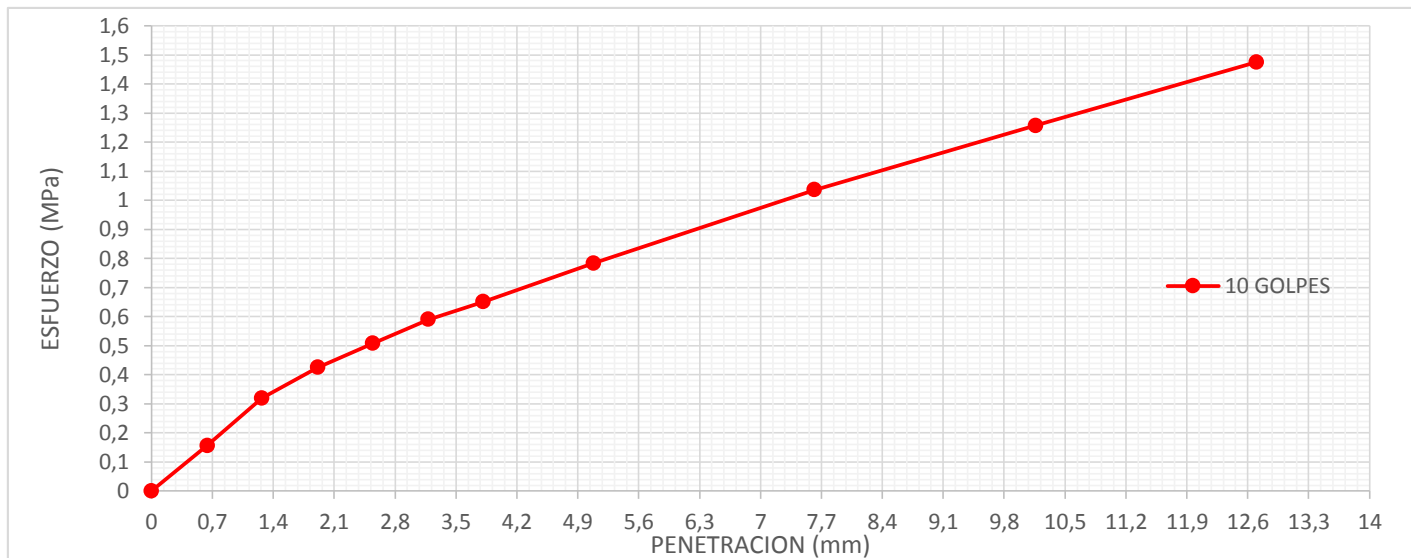
7.5.1 Ensayos de CBR Suelo + STASOIL + Cemento

Tabla # 33 datos ensayo CBR, suelo+ STASOIL + cemento # 1.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | | | | | | |
|---|-------|--|----------------|-----------------|---------------------------------|------------|-------------------|---------------------------------|-----------|------|--|
| | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | | | | | | |
| CALIFORNIA BEARING RATIO | | | | Densidad Maxima | | 1,9 | g/cm ³ | | | | |
| | | | | Humedad Optima | | 12 | % | | | | |
| MOLDE | | 17 | | 23 | | 9 | | | | | |
| N° capas | | 5 | | 5 | | 5 | | | | | |
| N° de golpes por capa | | 10 | | 25 | | 56 | | | | | |
| diametro molde | | 152 | mm | 152 | mm | 152 | mm | | | | |
| altura molde con piso falso | | 117 | mm | 114 | mm | 117 | mm | | | | |
| peso de molde | | 8585 | g | 8530 | g | 8679 | g | | | | |
| peso de molde + suelo | | 12669 | g | 12647 | g | 13212 | g | | | | |
| tiempo acumulado | | molde N° 17 | | | molde N° 23 | | | molde N° 9 | | | |
| | | lectura de deformacion (lineas) | Expansión | | lectura de deformacion (lineas) | Expansión | | lectura de deformacion (lineas) | Expansión | | |
| Hs | dias | | mm | % | | mm | % | | mm | % | |
| 0 | 0 | 5,334 | 5,334 | 4,56 | 0,2032 | 0,2032 | 0,18 | 0,0254 | 0,0254 | 0,02 | |
| 24 | 1 | 0,9398 | 4,3942 | 3,76 | 0,6096 | 0,4064 | 0,36 | 0,127 | 0,1016 | 0,09 | |
| 48 | 2 | 1,016 | 4,318 | 3,69 | 0,635 | 0,4318 | 0,4 | 0,1524 | 0,127 | 0,11 | |
| 72 | 3 | 1,0922 | 4,2418 | 3,63 | 0,7366 | 0,5334 | 0,5 | 0,2032 | 0,1778 | 0,15 | |
| 96 | 4 | 1,143 | 4,191 | 3,58 | 0,762 | 0,5588 | 0,49 | 0,2286 | 0,2032 | 0,17 | |
| VELOCIDAD DE PENETRACION = 0,05 in/min | | | | | | | | | | | |
| PENETRACION | | molde N° 17 | | molde N° 23 | | molde N° 9 | | | | | |
| mm | in | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | | | | |
| 0,64 | 0,025 | 68 | 0,156 | 87 | 0,200 | 97 | 0,223 | | | | |
| 1,27 | 0,05 | 139 | 0,319 | 194 | 0,446 | 305 | 0,701 | | | | |
| 1,91 | 0,075 | 185 | 0,425 | 320 | 0,735 | 687 | 1,578 | | | | |
| 2,54 | 0,1 | 221 | 0,508 | 397 | 0,912 | 997 | 2,290 | | | | |
| 3,18 | 0,125 | 257 | 0,590 | 467 | 1,073 | 1277 | 2,934 | | | | |
| 3,81 | 0,15 | 283 | 0,650 | 523 | 1,201 | 1487 | 3,416 | | | | |
| 5,08 | 0,2 | 341 | 0,783 | 657 | 1,509 | 1787 | 4,105 | | | | |
| 7,62 | 0,3 | 451 | 1,036 | 804 | 1,847 | 2279 | 5,236 | | | | |
| 10,16 | 0,4 | 547 | 1,257 | 956 | 2,196 | 2689 | 6,177 | | | | |
| 12,7 | 0,5 | 642 | 1,475 | 1096 | 2,518 | 3090 | 7,099 | | | | |
| MOLDE | | 17 | | 23 | | 9 | | | | | |
| peso tara | | 20,88 | g | 20,95 | g | 20,92 | g | | | | |
| peso tara + suelo humedo | | 81,95 | g | 86 | g | 77,96 | g | | | | |
| peso tara + suelo seco | | 70,6 | g | 74,33 | g | 69,42 | g | | | | |
| peso suelo seco | | 49,72 | g | 53,38 | g | 48,5 | g | | | | |
| peso agua | | 11,35 | g | 11,67 | g | 8,54 | g | | | | |
| contenido humedad | | 22,83 | % | 21,86 | % | 17,61 | % | | | | |

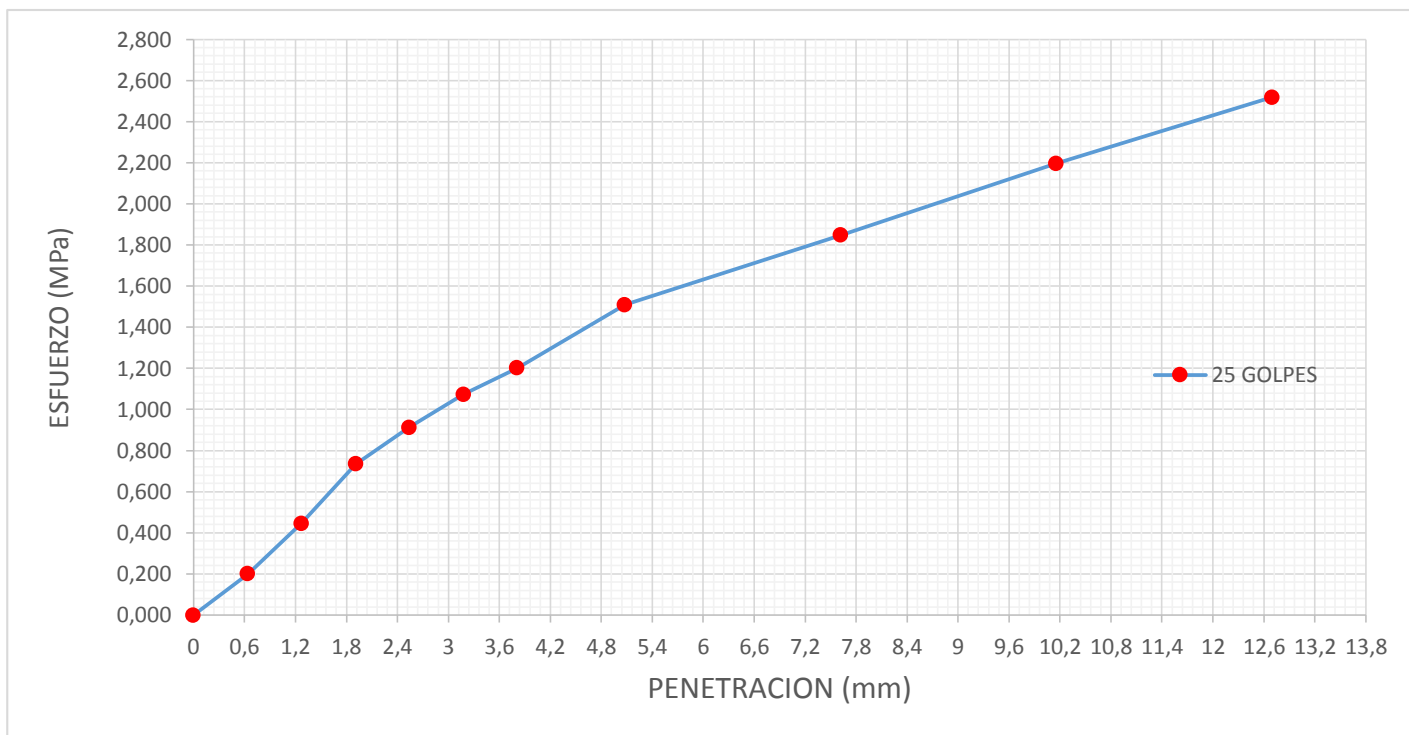
Fuente: autores del proyecto

Figura # 61 Grafica esfuerzo vs penetración 10 golpes ensayo # 1 de CBR, suelo + STASOIL + cemento.



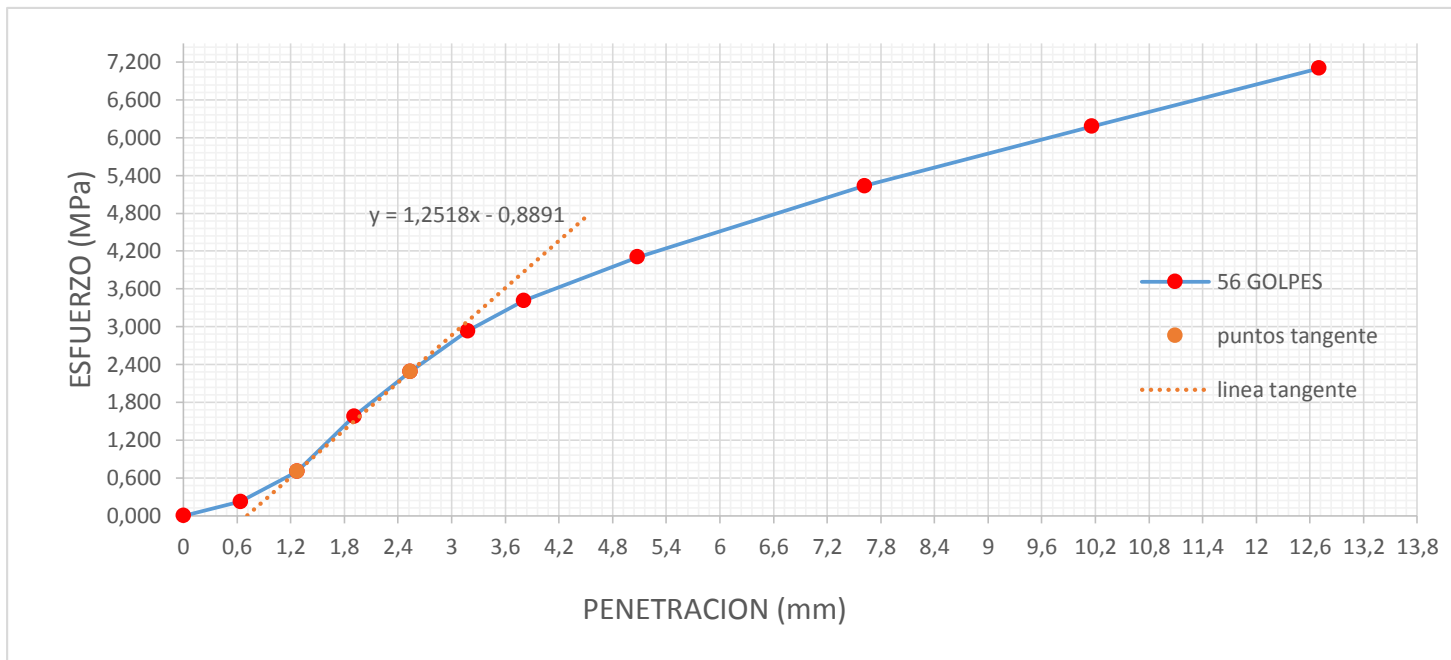
Fuente: autores del proyecto

Figura # 62 Grafica esfuerzo vs penetración 25 golpes ensayo # 1 de CBR, suelo + STASOIL + cemento.



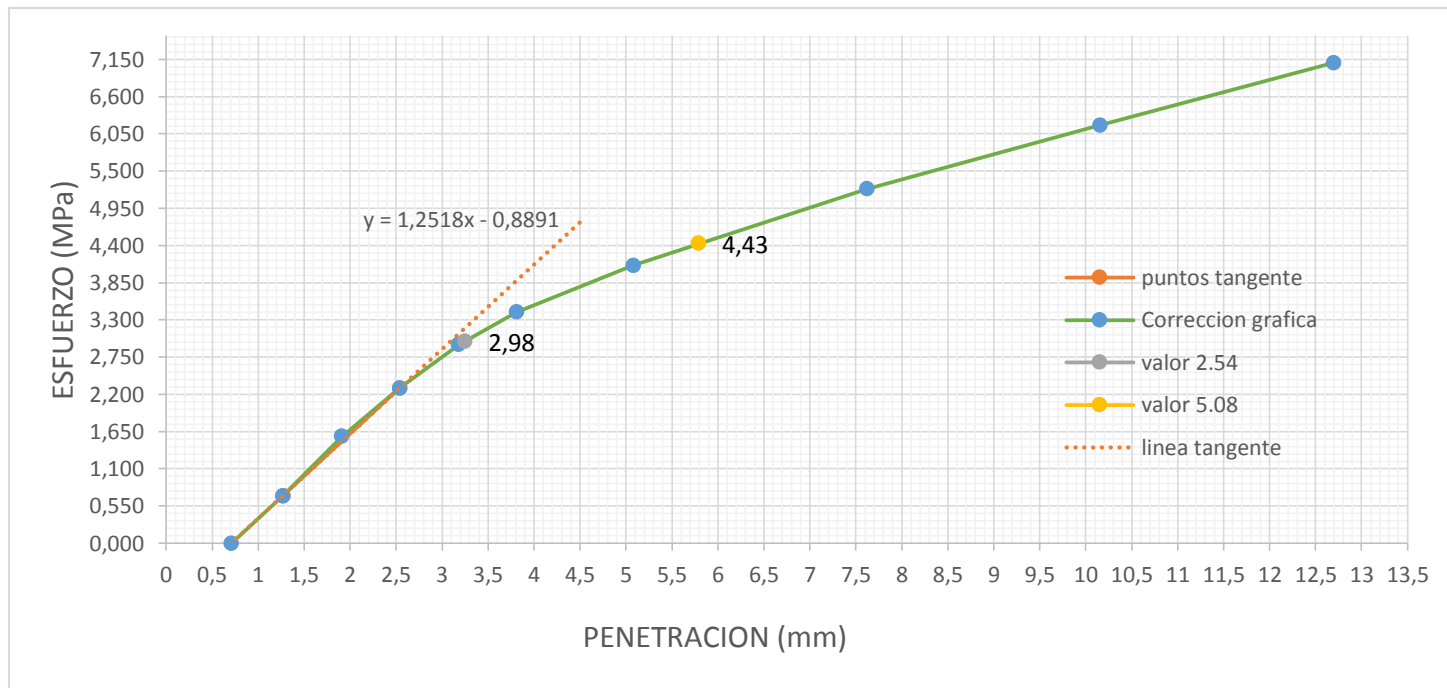
Fuente: autores del proyecto.

Figura # 63 Grafica esfuerzo vs penetración 56 golpes ensayo # 1 de CBR, suelo + STASOIL + cemento.



Fuente: autores del proyecto

Figura # 64 Grafica esfuerzo vs penetración corrección 56 golpes ensayo # 1 de CBR, suelo + STASOIL + cemento.



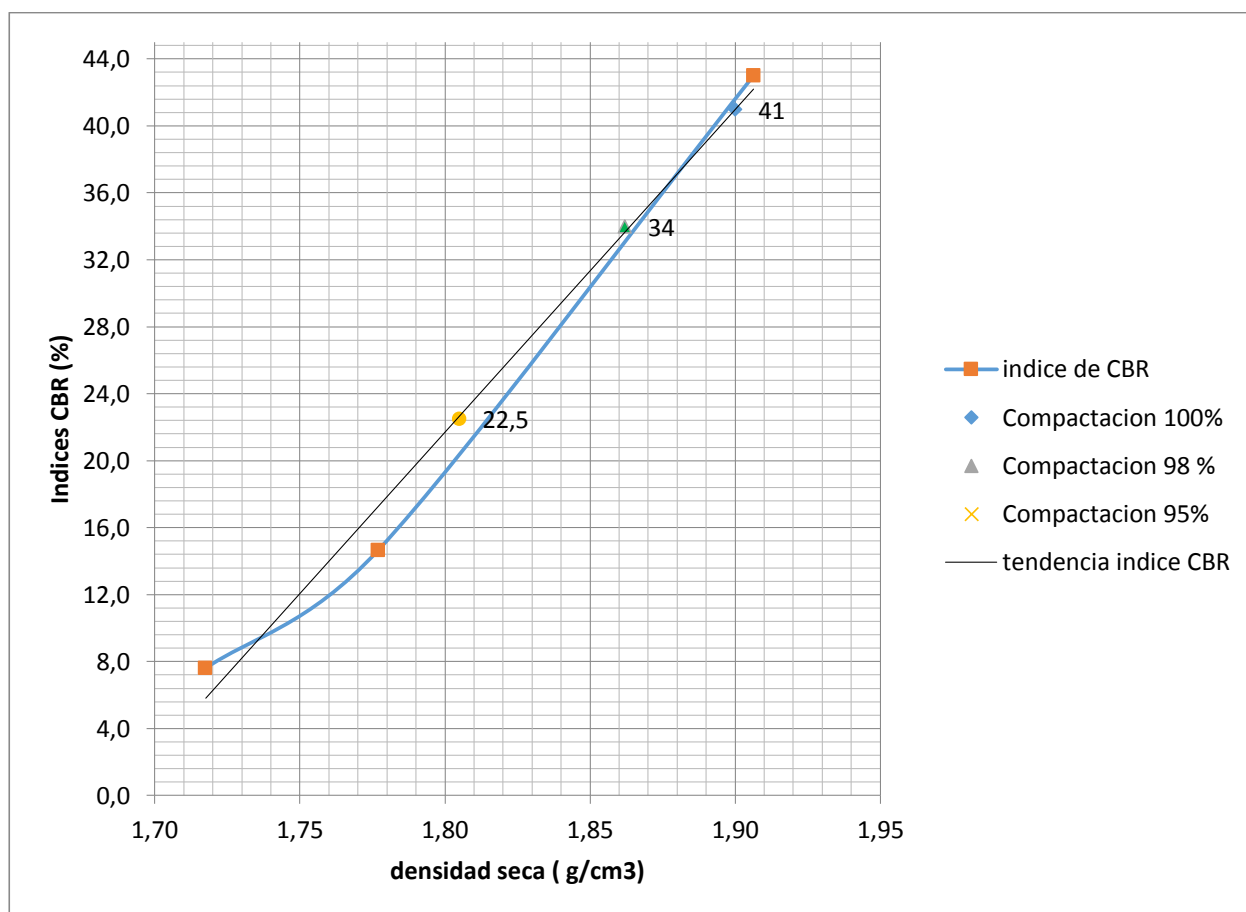
Fuente: autores del proyecto.

Tabla # 34 Datos para el cálculo de Índice de CBR # 1 Suelo + STASOIL + cemento

| carga patron (Mpa) | %CBR (10 golpes) | %CBR (25 golpes) | %CBR (56 golpes) |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|
| 6,9 | 7,358 | 13,218 | 43,188 |
| 10,3 | 7,606 | 14,654 | 43,010 |
| molde | 17 | 23 | 9 |
| diámetro (cm) | 181,458 | 181,458 | 181,458 |
| altura (cm) | 11,7 | 11,4 | 11,7 |
| volumen (cm ³) | 2123,063 | 2068,626 | 2123,063 |
| peso suelo (g) | 4084 | 4117 | 4533 |
| densidad humeda | 1,924 | 1,990 | 2,135 |
| densidad seca | 1,718 | 1,777 | 1,906 |


Fuente: autores del proyecto.

Figura # 65 Grafica Índice CBR/ Densidad.



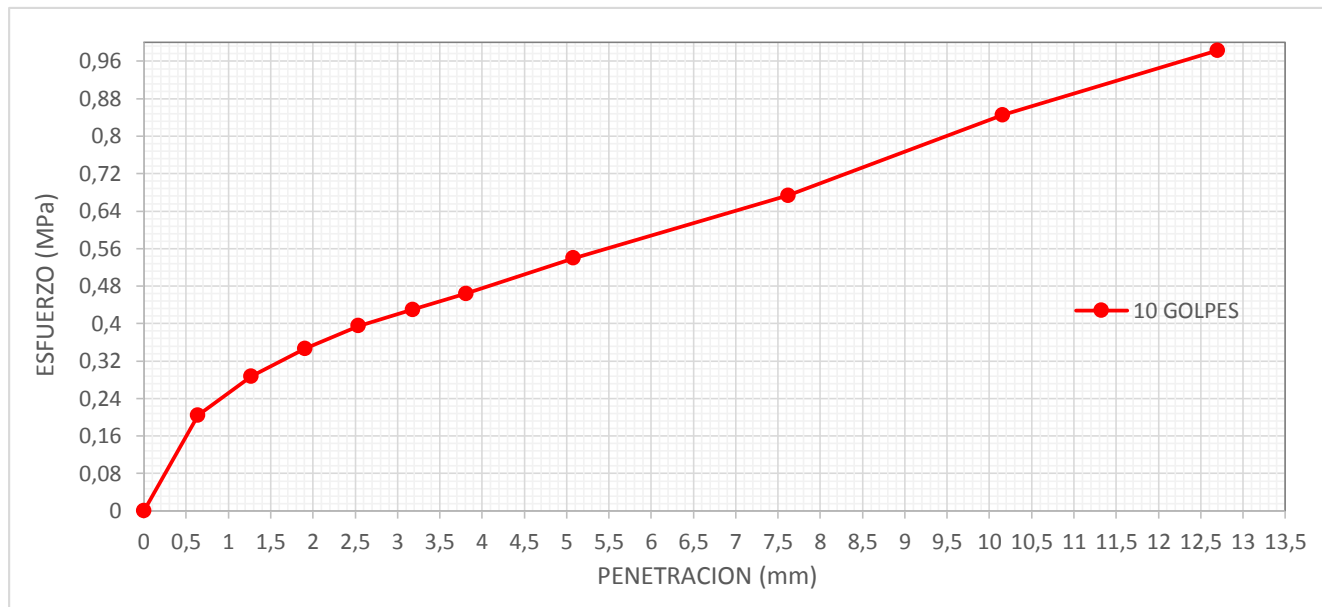
Fuente: autores del proyecto.

Tabla # 35 datos ensayo 2 CBR suelo + STASOIL + cemento.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | | | | | | |
|---|-------|--|----------------|-----------------|---------------------------------|-------------|-------------------|---------------------------------|-----------|------|--|
| | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | | | | | | |
| CALIFORNIA BEARING RATIO | | | | Densidad Maxima | | 1,9 | g/cm ³ | | | | |
| | | | | Humedad Optima | | 12 | % | | | | |
| MOLDE | | 11 | | 8 | | 10 | | | | | |
| N° capas | | 5 | | 5 | | 5 | | | | | |
| N° de golpes por capa | | 10 | | 25 | | 56 | | | | | |
| diametro molde | | 152 | mm | 153 | mm | 152 | mm | | | | |
| altura molde con piso falso | | 117 | mm | 115 | mm | 117 | mm | | | | |
| peso de molde | | 8911 | g | 8491 | g | 8839 | g | | | | |
| peso de molde + suelo | | 12893 | g | 12608 | g | 13309 | g | | | | |
| tiempo acumulado | | molde N° 11 | | | molde N° 8 | | | molde N° 10 | | | |
| | | lectura de deformacion (mm) | Expansión | | lectura de deformacion (lineas) | Expansión | | lectura de deformacion (lineas) | Expansión | | |
| Hs | días | | mm | % | | mm | % | | mm | % | |
| 0 | 0 | 1,7526 | 1,7526 | 1,50 | 0,254 | 0,254 | 0,22 | 1,143 | 1,143 | 0,98 | |
| 24 | 1 | 2,2098 | 0,4572 | 0,39 | 0,2794 | 0,0254 | 0,02 | 1,4732 | 0,3302 | 0,28 | |
| 48 | 2 | 2,2606 | 0,508 | 0,43 | 0,3175 | 0,0635 | 0,1 | 1,5494 | 0,4064 | 0,35 | |
| 72 | 3 | 2,3368 | 0,5842 | 0,50 | 0,3556 | 0,1016 | 0,1 | 1,651 | 0,508 | 0,43 | |
| 96 | 4 | 2,3622 | 0,6096 | 0,52 | 0,4064 | 0,1524 | 0,13 | 1,6764 | 0,5334 | 0,46 | |
| VELOCIDAD DE PENETRACION = 0,05 in/min | | | | | | | | | | | |
| PENETRACION | | molde N° 11 | | molde N° 8 | | molde N° 10 | | | | | |
| mm | in | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | | | | |
| 0,64 | 0,025 | 89 | 0,204 | 89 | 0,204 | 71 | 0,163 | | | | |
| 1,27 | 0,05 | 125 | 0,287 | 150 | 0,345 | 239 | 0,549 | | | | |
| 1,91 | 0,075 | 151 | 0,347 | 210 | 0,482 | 502 | 1,153 | | | | |
| 2,54 | 0,1 | 172 | 0,395 | 265 | 0,609 | 790 | 1,815 | | | | |
| 3,18 | 0,125 | 187 | 0,430 | 313 | 0,719 | 1109 | 2,548 | | | | |
| 3,81 | 0,15 | 202 | 0,464 | 387 | 0,889 | 1374 | 3,156 | | | | |
| 5,08 | 0,2 | 235 | 0,540 | 545 | 1,252 | 1814 | 4,167 | | | | |
| 7,62 | 0,3 | 293 | 0,673 | 798 | 1,833 | 2207 | 5,070 | | | | |
| 10,16 | 0,4 | 368 | 0,845 | 1045 | 2,401 | 2578 | 5,922 | | | | |
| 12,7 | 0,5 | 428 | 0,983 | 1264 | 2,904 | 2907 | 6,678 | | | | |
| MOLDE | | 11 | | 8 | | 10 | | | | | |
| peso tara | | 21,15 | g | 20,64 | g | 21,39 | g | | | | |
| peso tara + suelo humedo | | 88,95 | g | 69,29 | g | 70,01 | g | | | | |
| peso tara + suelo seco | | 76,27 | g | 61,32 | g | 61,45 | g | | | | |
| peso suelo seco | | 55,12 | g | 40,68 | g | 40,06 | g | | | | |
| peso agua | | 12,68 | g | 7,97 | g | 8,56 | g | | | | |
| contenido humedad | | 23,00 | % | 19,59 | % | 21,37 | % | | | | |

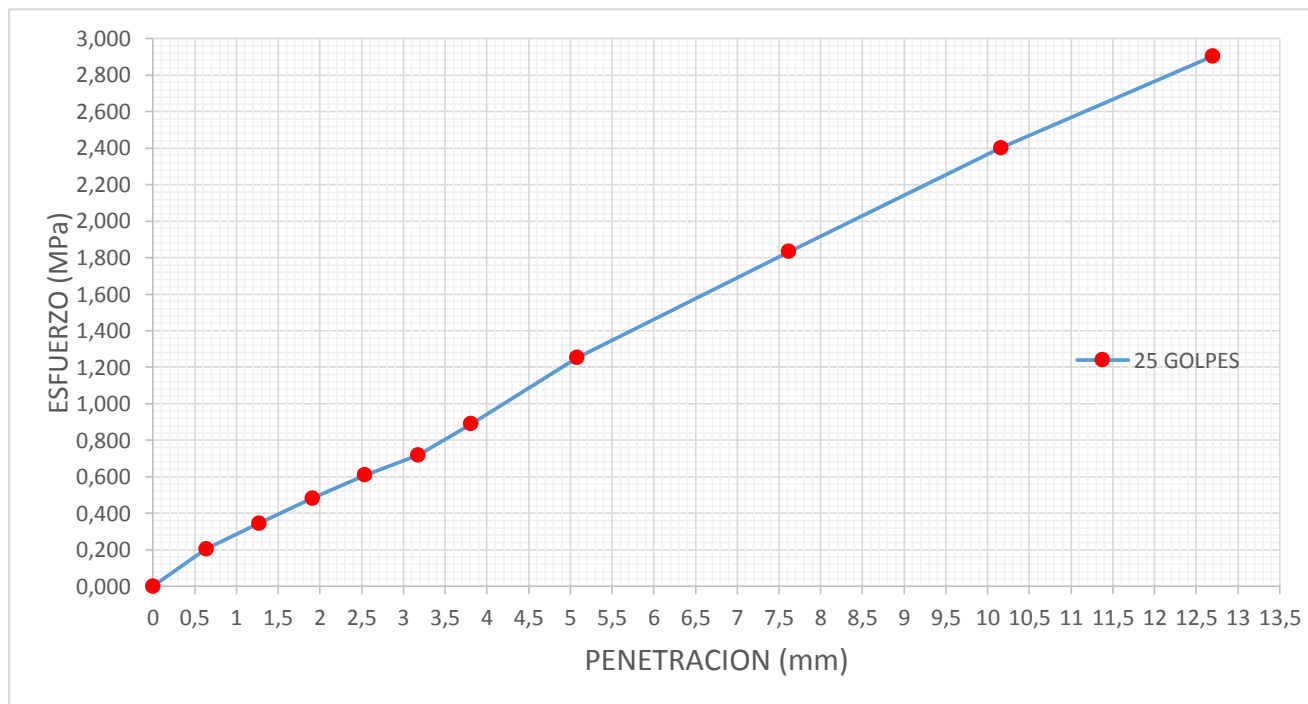
Fuente: autores del proyecto

Figura # 66 Grafica esfuerzo vs penetración 10 golpes ensayo # 2 de CBR suelo + STASOIL + cemento.



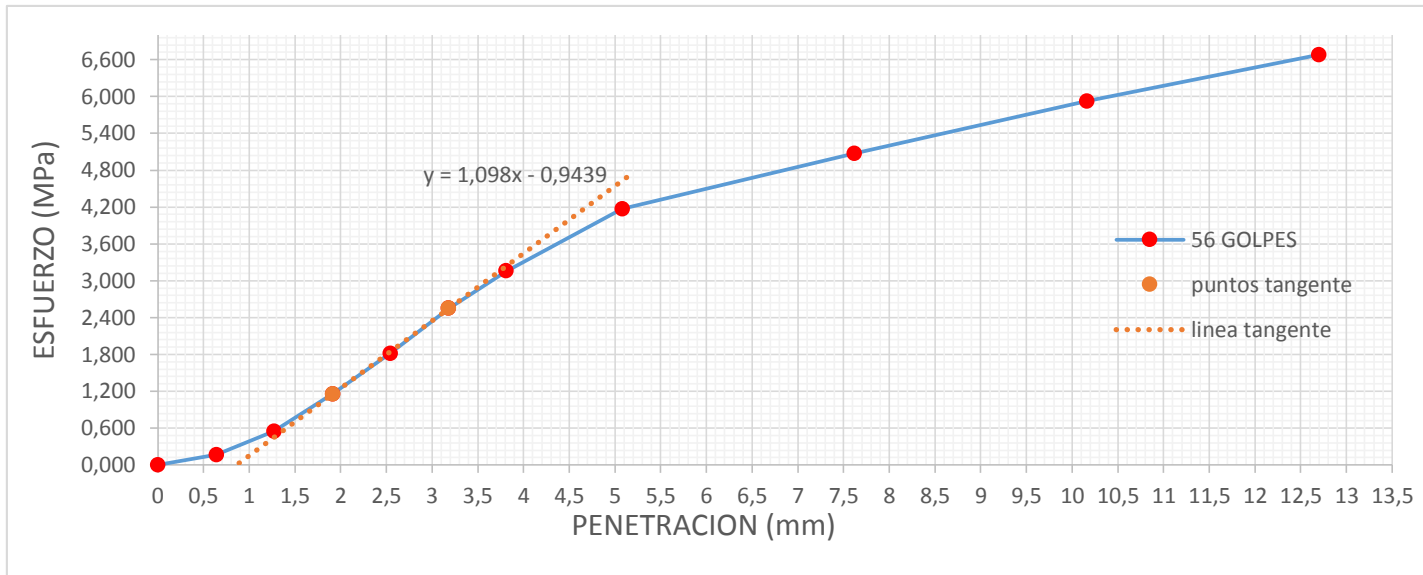
Fuente: autores del proyecto

Figura # 67 Grafica esfuerzo vs penetración 25 golpes ensayo # 2 de CBR suelo + STASOIL + cemento.



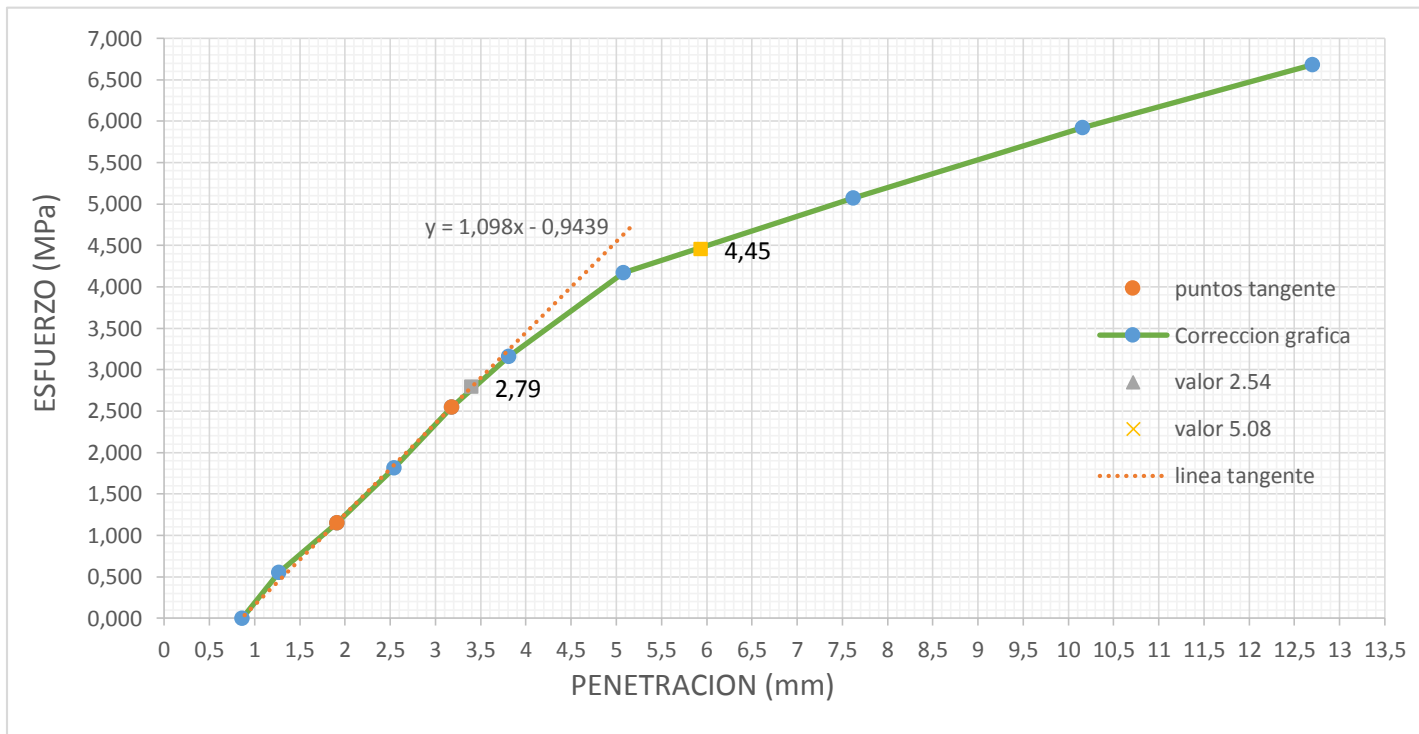
Fuente: autores del proyecto

Figura # 68 Grafica esfuerzo vs penetración 56 golpes ensayo # 2 de CBR, suelo + STASOIL + cemento.



Fuente: autores del proyecto

Figura # 69 Grafica esfuerzo vs penetración corrección 56 golpes ensayo # 2 de CBR, suelo + STASOIL + cemento.



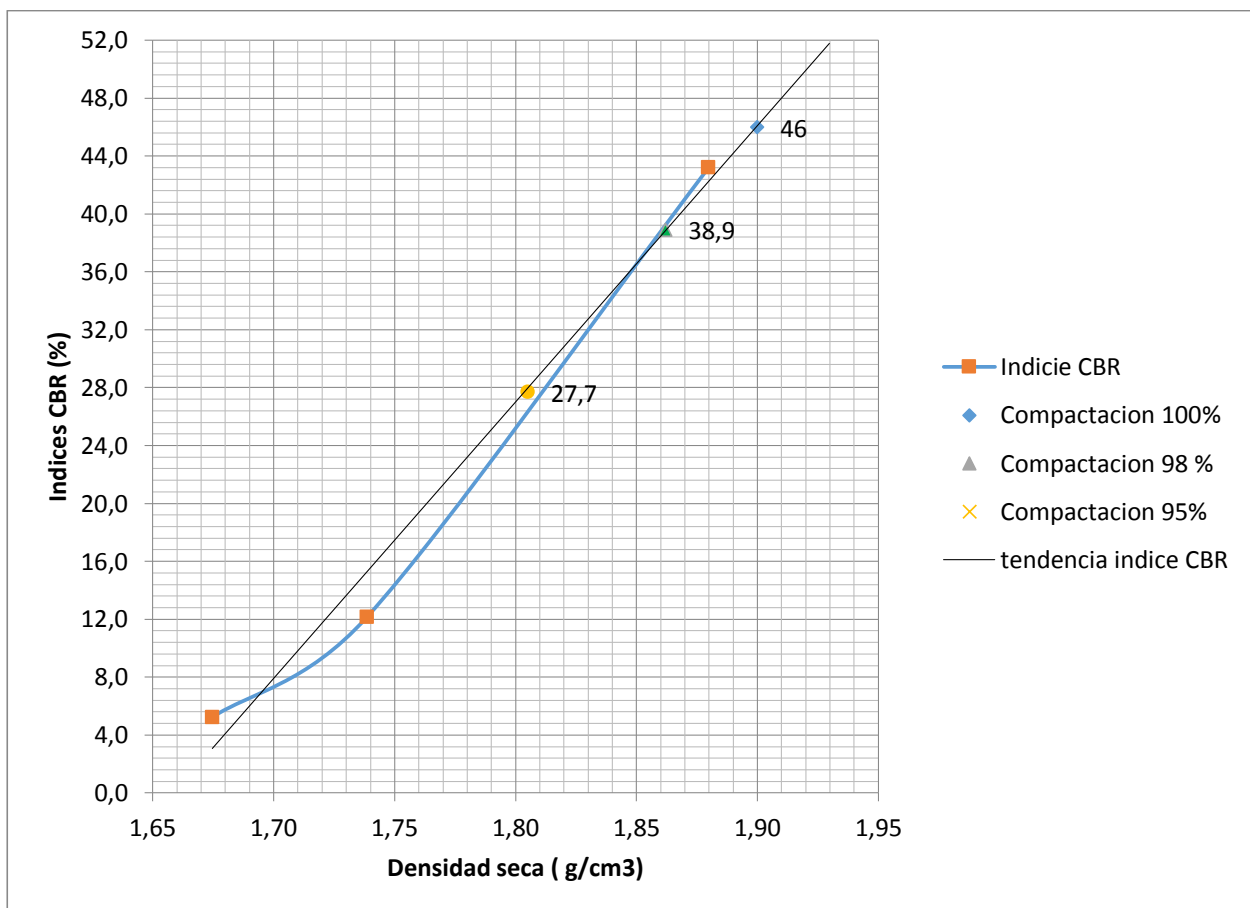
Fuente: autores del proyecto.

Tabla # 36 Datos para el cálculo de Índice de CBR # 2 Suelo + STASOIL + cemento

| carga patron (Mpa) | %CBR (10 golpes) | %CBR (25 golpes) | %CBR (56 golpes) |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|
| 6,9 | 5,727 | 8,823 | 40,435 |
| 10,3 | 5,241 | 12,156 | 43,204 |
| molde | 11 | 8 | 10 |
| diametro (cm) | 181,458 | 183,854 | 181,458 |
| altura (cm) | 11,7 | 11,5 | 11,7 |
| volumen (cm ³) | 2123,063 | 2114,319 | 2123,063 |
| peso suelo (g) | 3982 | 4117 | 4470 |
| densidad humeda | 1,876 | 1,947 | 2,105 |
| densidad seca | 1,675 | 1,739 | 1,880 |


Fuente: autores del proyecto.

Figura # 70 Grafica Índice CBR/ Densidad.



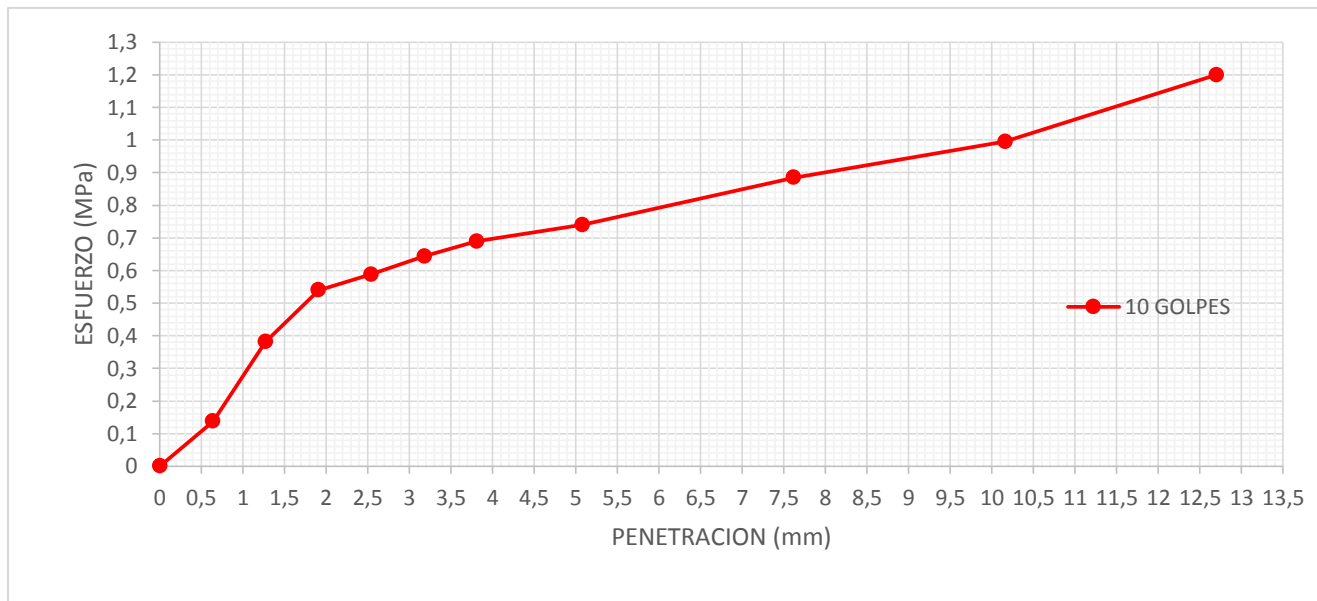
Fuente: autores del proyecto.

Tabla # 37 datos ensayo CBR + STASOIL # 3.

|  Universidad Pontificia Bolivariana | | LABORATORIO GEOTECNIA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | | | | | | | | | |
|---|-------|--|----------------|-----------------|---------------------------------|-------------|-------------------|---------------------------------|-----------|------|--|
| | | YEFFERSON ALEXANDER ORTEGA VARGAS MIGUEL ANGEL ORTIZ MACHENGO | | | | | | | | | |
| CALIFORNIA BEARING RATIO | | | | Densidad Maxima | | 1,9 | g/cm ³ | | | | |
| | | | | Humedad Optima | | 12 | % | | | | |
| MOLDE | 20 | | | 2 | | 22 | | | | | |
| N° capas | 5 | | | 5 | | 5 | | | | | |
| N° de golpes por capa | 10 | | | 25 | | 56 | | | | | |
| diametro molde | 152 | mm | | 153 | mm | | 152 | mm | | | |
| altura molde con piso falso | 117 | mm | | 114 | mm | | 117 | mm | | | |
| peso de molde | 7349 | g | | 8670 | g | | 8630 | g | | | |
| peso de molde + suelo | 11158 | g | | 12855 | g | | 13163 | g | | | |
| tiempo acumulado | | molde N° 20 | | | molde N° 2 | | | molde N° 22 | | | |
| | | lectura de deformacion (lineas) | Expansión | | lectura de deformacion (lineas) | Expansión | | lectura de deformacion (lineas) | Expansión | | |
| Hs | dias | | mm | % | | mm | % | | mm | % | |
| 0 | 0 | 0,127 | 0,127 | 0,11 | 0,127 | 0,127 | 0,11 | 2,3622 | 2,3622 | 2,02 | |
| 24 | 1 | 0,3302 | 0,2032 | 0,17 | 0,5588 | 0,4318 | 0,38 | 2,8702 | 0,508 | 0,43 | |
| 48 | 2 | 0,381 | 0,254 | 0,22 | 0,5588 | 0,4318 | 0,38 | 2,8702 | 0,508 | 0,43 | |
| 72 | 3 | 0,4318 | 0,3048 | 0,26 | 0,5715 | 0,4445 | 0,4 | 2,8956 | 0,5334 | 0,46 | |
| 96 | 4 | 0,4572 | 0,3302 | 0,28 | 0,6604 | 0,5334 | 0,47 | 2,921 | 0,5588 | 0,48 | |
| VELOCIDAD DE PENETRACION = 0,05 in/min | | | | | | | | | | | |
| PENETRACION | | molde N° 20 | | molde N° 2 | | molde N° 22 | | | | | |
| mm | in | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | carga (lb) | esfuerzo (Mpa) | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | | | | |
| 0,64 | 0,025 | 60 | 0,138 | 89 | 0,204 | 61 | 0,140 | | | | |
| 1,27 | 0,05 | 166 | 0,381 | 180 | 0,414 | 259 | 0,595 | | | | |
| 1,91 | 0,075 | 235 | 0,540 | 249 | 0,572 | 563 | 1,293 | | | | |
| 2,54 | 0,1 | 256 | 0,588 | 294 | 0,675 | 891 | 2,047 | | | | |
| 3,18 | 0,125 | 280 | 0,643 | 367 | 0,843 | 1174 | 2,697 | | | | |
| 3,81 | 0,15 | 300 | 0,689 | 432 | 0,992 | 1400 | 3,216 | | | | |
| 5,08 | 0,2 | 322 | 0,740 | 554 | 1,273 | 1750 | 4,020 | | | | |
| 7,62 | 0,3 | 385 | 0,884 | 776 | 1,783 | 2246 | 5,160 | | | | |
| 10,16 | 0,4 | 433 | 0,995 | 973 | 2,235 | 2599 | 5,971 | | | | |
| 12,7 | 0,5 | 522 | 1,199 | 1151 | 2,644 | 2819 | 6,476 | | | | |
| MOLDE | | 20 | | 2 | | 22 | | | | | |
| peso tara | 21,04 | g | | 26,88 | g | | 20,88 | g | | | |
| peso tara + suelo humedo | 71,44 | g | | 108,66 | g | | 81,95 | g | | | |
| peso tara + suelo seco | 62,28 | g | | 93,54 | g | | 70,6 | g | | | |
| peso suelo seco | 41,24 | g | | 66,66 | g | | 49,72 | g | | | |
| peso agua | 9,16 | g | | 15,12 | g | | 11,35 | g | | | |
| contenido humedad | 22,21 | % | | 22,68 | % | | 22,83 | % | | | |

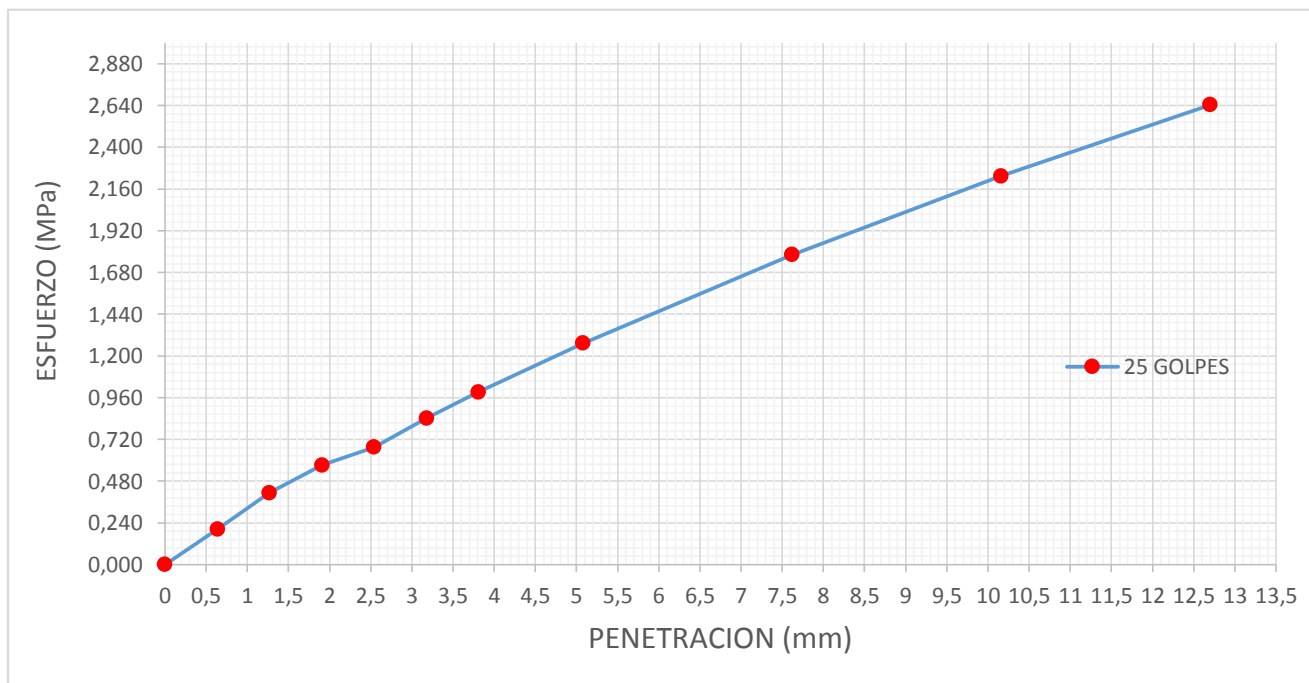
Fuente: autores del proyecto

Figura # 71 Grafica esfuerzo vs penetración 10 golpes ensayo 3 de CBR suelo + STASOIL cemento.



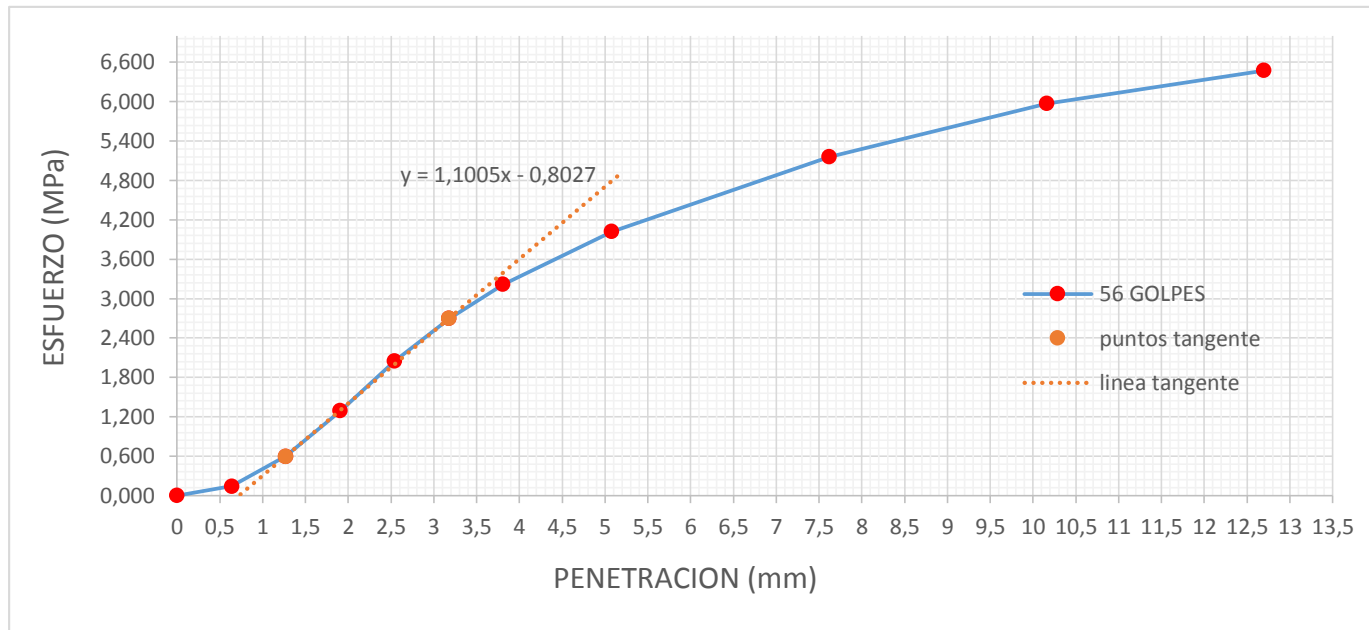
Fuente: autores del proyecto

Figura # 72 Grafica esfuerzo vs penetración 25 golpes ensayo 3 de CBR, suelo + STASOIL + cemento.



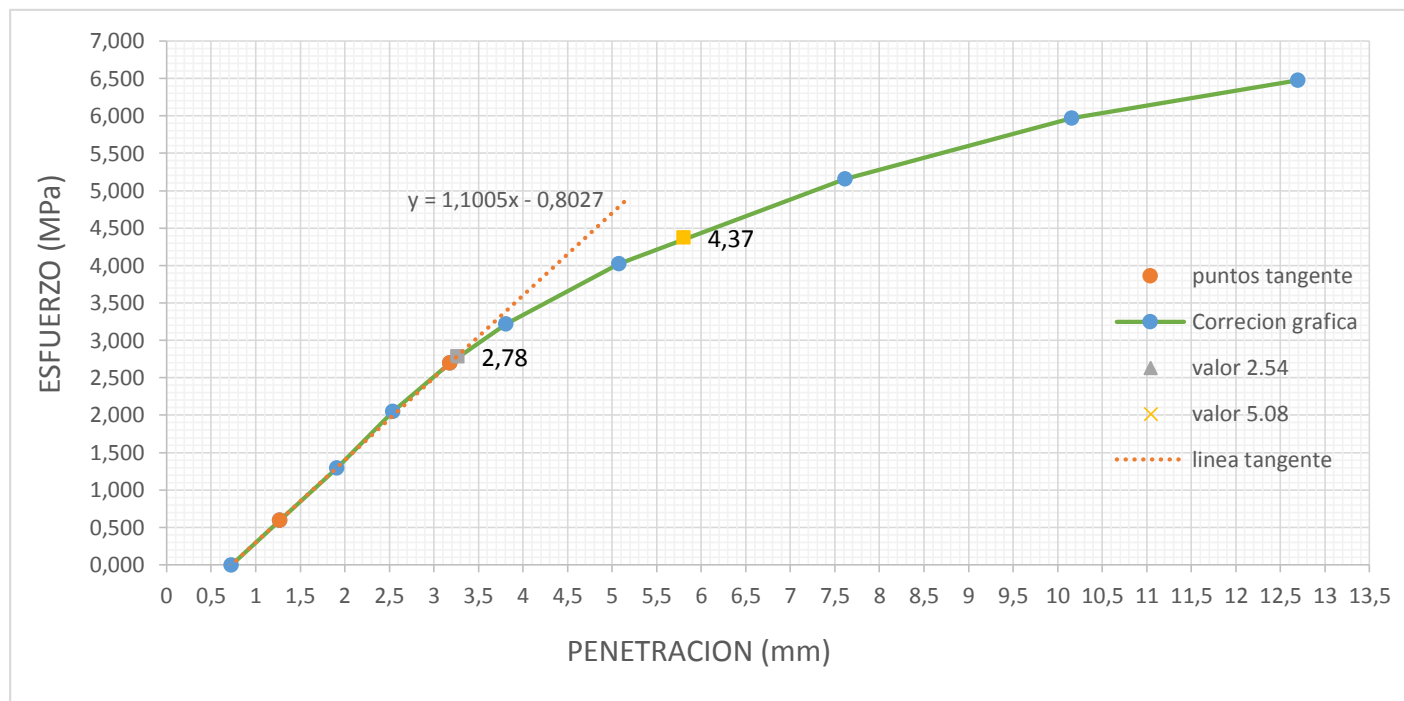
Fuente: autores del proyecto

Figura # 73 Grafica esfuerzo vs penetración 56 golpes ensayo 3 de CBR suelo + STASOIL + cemento.



Fuente: autores del proyecto

Figura # 74 Grafica esfuerzo vs penetración corrección 56 golpes ensayo 3 de CBR, suelo + STASOIL + cemento.



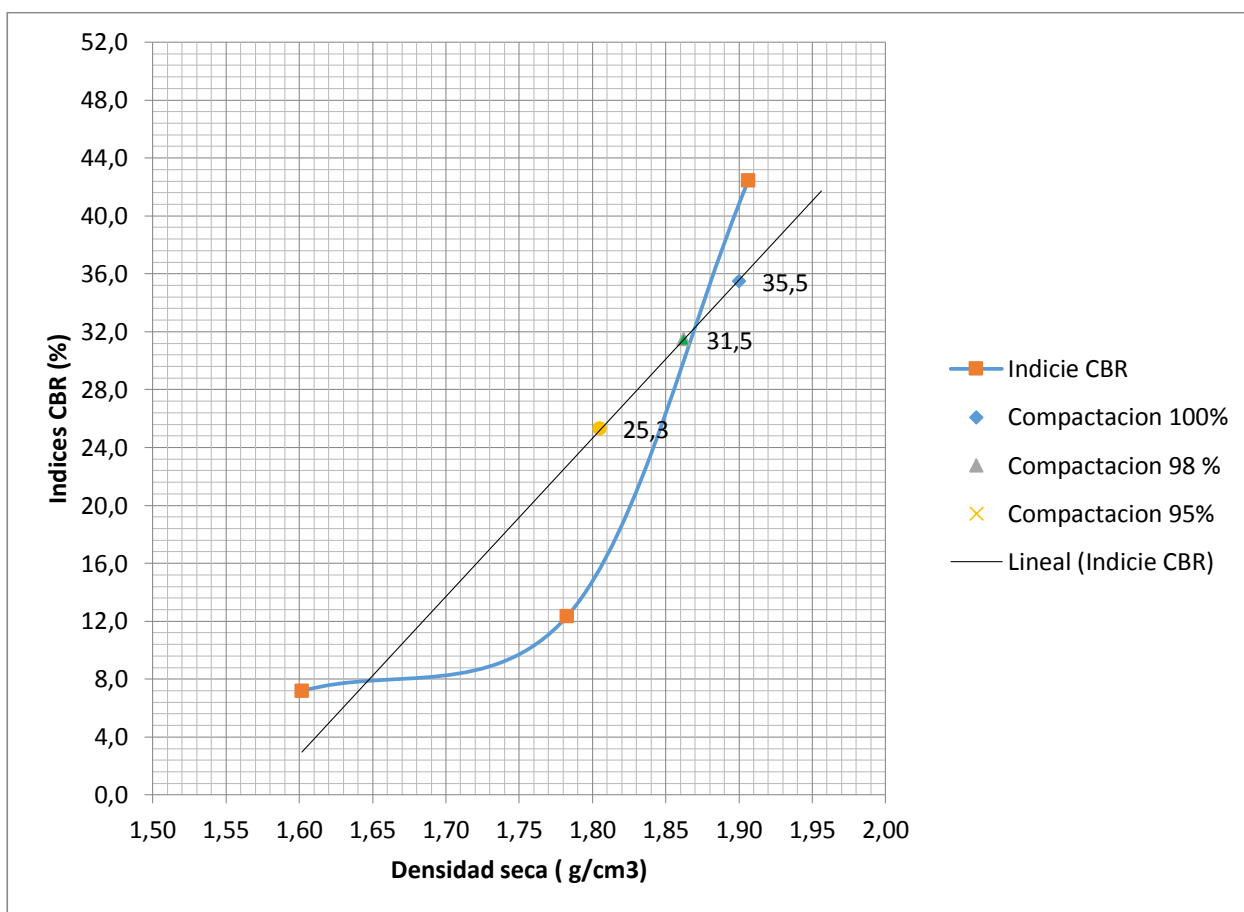
Fuente: autores del proyecto.

Tabla # 38 Datos para el cálculo de Índice de CBR # 3 Suelo + STASOIL + cemento

| carga patron (Mpa) | %CBR (10 golpes) | %CBR (25 golpes) | %CBR (56 golpes) |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|
| 6,9 | 8,523 | 9,788 | 40,290 |
| 10,3 | 7,182 | 12,356 | 42,427 |
| molde | 20 | 2 | 22 |
| diametro (cm) | 181,458 | 183,854 | 181,458 |
| altura (cm) | 11,7 | 11,4 | 11,7 |
| volumen (cm ³) | 2123,063 | 2095,934 | 2123,063 |
| peso suelo (g) | 3809 | 4185 | 4533 |
| densidad humeda | 1,794 | 1,997 | 2,135 |
| densidad seca | 1,602 | 1,783 | 1,906 |

Fuente: autores del proyecto.

Figura # 75 Grafica Índice CBR/ Densidad.



Fuente: autores del proyecto.

8. ANALISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de los datos expuestos anteriormente en el índice número 7.3 a 7.5.1 de este trabajo de grado y como también mencionado al inicio del proyecto, se especifica que los resultados del suelo en condición inalterada, se trabajaron con condiciones de humedad óptima y para el suelo en condición alterada con humedad óptima, con 200 gramos/metro cúbico de STASOIL (producto registrado y suministrado por KEMTEK S.A.S) y 50 kg/metro cúbico de cemento, por lo cual en los índices 8.1,8.2 y 8.3 se presentan promedio de los datos y resultados obtenidos en los laboratorios especificados respectivamente.

8.1 Compresion simple

La tabla 39 presenta un promedio de las deformaciones unitarias correspondientes al esfuerzo máximo (q_u), tomados de cada una de las gráficas (esfuerzo vs deformación unitaria) realizadas por medio de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorios.

Tabla # 39 Promedio q_u (máximo) y deformación unitaria

| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 |
|------------------------------|-----------|----------|----------|----------------------|----------|----------|
| | qu Maximo | | | Deformacion unitaria | | |
| unidades | kPa | | | % | | |
| Suelo inalterado | 1240 | 940 | 840 | 3,35 | 2,1 | 1,95 |
| Promedio | 1006,7 | | | 2,5 | | |
| suelo + STASOIL + cemento | 2635 | 2400 | 2220 | 2,25 | 2,9 | 2,05 |
| Promedio | 2418,3 | | | 2,4 | | |

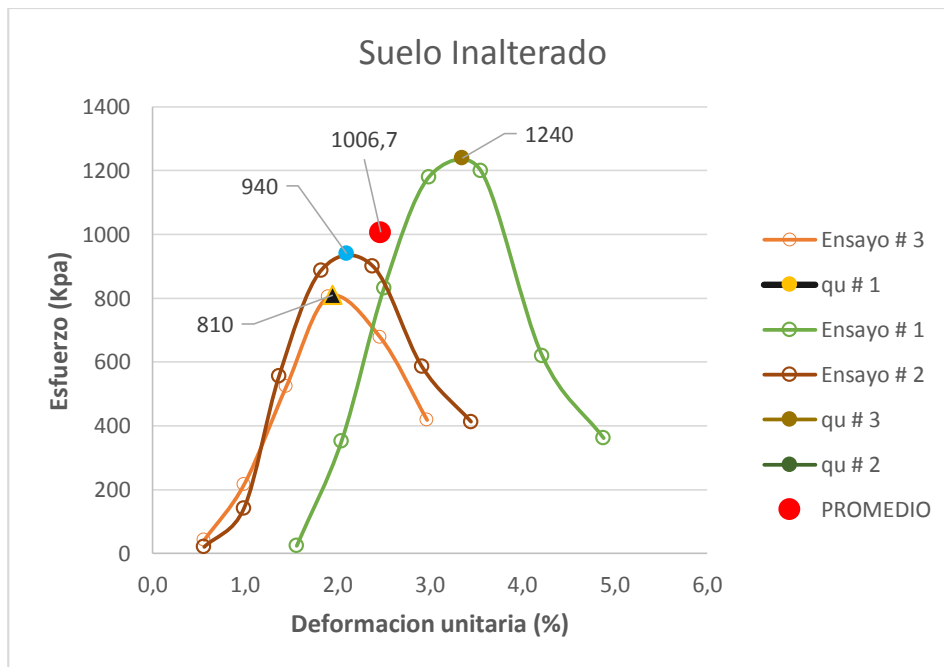
Fuente: autores del proyecto

En este caso los resultados obtenidos en los laboratorios con el suelo alterado demuestran un notorio aumento cercano al 141% en el promedio de los ensayos de q_u máximo con respecto al q_u máximo del promedio de ensayos de suelo inalterado, donde se evidencia la efectividad de los sistemas coloidales a cargas o esfuerzos axiales.

Por {ultima interpretacion de la tabla 39, se muestra una disminucion leve en la deformacion unitaria que corresponde a la deformacion en milímetros con respecto a un promedio de las alturas tomadas de cada cilindro ensayado, por lo cual ese valor de 0.1 % de diferencia en los promedios, se podría tomar como un grande aumento para las características del suelo en el cual se trabajo.

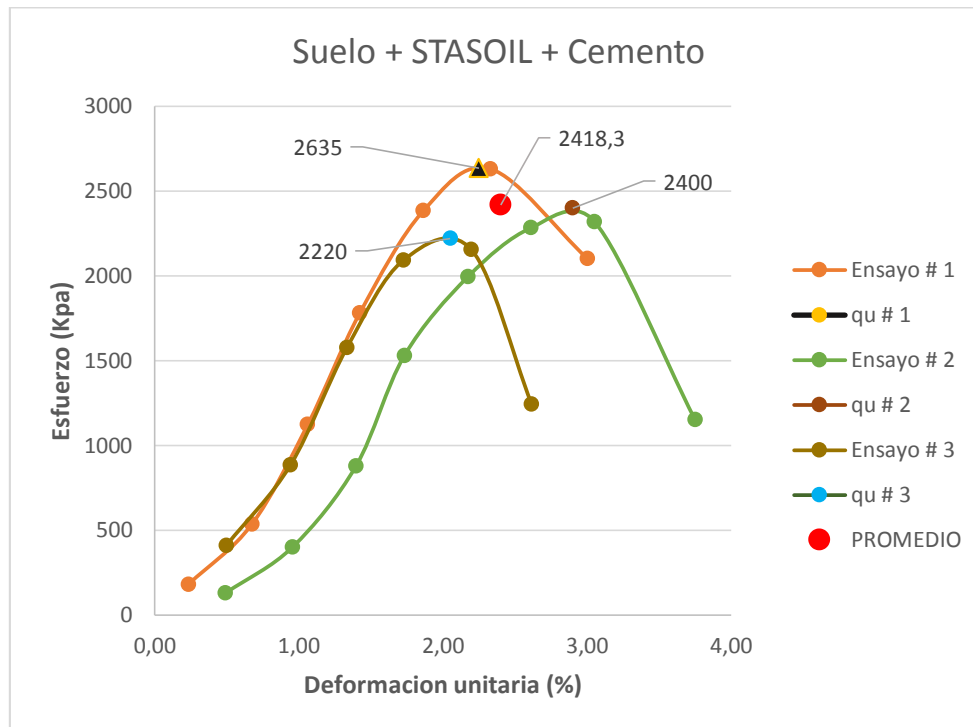
En la gráfica 77 y 78 se muestra las curvas de esfuerzo vs deformación unitaria para el suelo inalterado y alterado respectivamente, con los promedios incluidos de la tabla 39; donde tambien se evidencia los cambios ya mencionados anteriormente.

Figura # 76. Grafica promedio compresion simple suelo inalterado



Fuente: autores del proyecto

Figura # 77. Grafica promedio compresion simple suelo + STASOIL + Cemento



Fuente: autores del proyecto

8.2 Corte directo

En este ensayo se cambió un procedimiento en la realización del laboratorio en el suelo con condiciones alteradas, las cuales fue, modificar la consolidación de 24 horas en el molde de la máquina de corte directo (vease en la figura 30) con saturación al 100%, y realizar este procedimiento de saturación en una piscina del laboratorio con las pastillas con suelo modificado sin ninguna carga, pero puestas en moldes para que no hubiera perdida de material, esto debido a que el suelo con condiciones alteradas se le adicionó aproximadamente 2.6 % de cemento (respecto al 100 % del volumen de la pastilla), por motivos de la reaccion que se produce al momento de mezclar agua con cemento.

Tabla # 40 Promedio de resultados corte directo suelo inalterado

| σ | peso muestra | volumen | carga maxima | $\phi =$ | | ρ |
|--------------------|--------------|-----------------|--------------|---------------------|-----------|--------------------|
| Kg/cm ² | kg | cm ³ | kg | C= | | Kg/cm ² |
| 0 | 0 | 0 | 0,0 | $\gamma =$ | 1,9466863 | g/cm ³ |
| 0,5 | 0,12387 | 63,936 | 15,8 | $\gamma_d =$ | 1,562861 | g/cm ³ |
| 1 | 0,1339 | 63,936 | 19,5 | ω (moldeo) = | 15,63 | % |
| 2 | 0,11562 | 63,936 | 30,5 | ω (corte) = | 24,56 | % |

| σ | τ | γ | ω (moldeo) | ω (corte) |
|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ³ | % | % |
| 0 | 0,2870 | ----- | | |
| 0,5 | 0,44 | 0,0019374 | 14,41 | 25,21 |
| 1 | 0,54 | 0,0020943 | 16,33 | 22,87 |
| 2 | 0,85 | 0,0018084 | 16,15 | 25,59 |

Fuente: autores del proyecto

Tabla # 41 Promedio de resultados corte directo suelo + STASOIL + Cemento

| σ | peso muestra | volumen | carga maxima | $\phi =$ | | ρ |
|--------------------|--------------|-----------------|--------------|---------------------|-----------|--------------------|
| Kg/cm ² | kg | cm ³ | kg | C= | | Kg/cm ² |
| 0 | 0 | 0 | 0,0 | $\gamma =$ | 2,0346388 | g/cm ³ |
| 0,5 | 0,12807 | 63,936 | 17,7 | $\gamma_d =$ | 1,744743 | g/cm ³ |
| 1 | 0,13239 | 63,936 | 31,8 | ω (moldeo) = | 17,03 | % |
| 2 | 0,1298 | 63,936 | 43,6 | ω (corte) = | 16,62 | % |

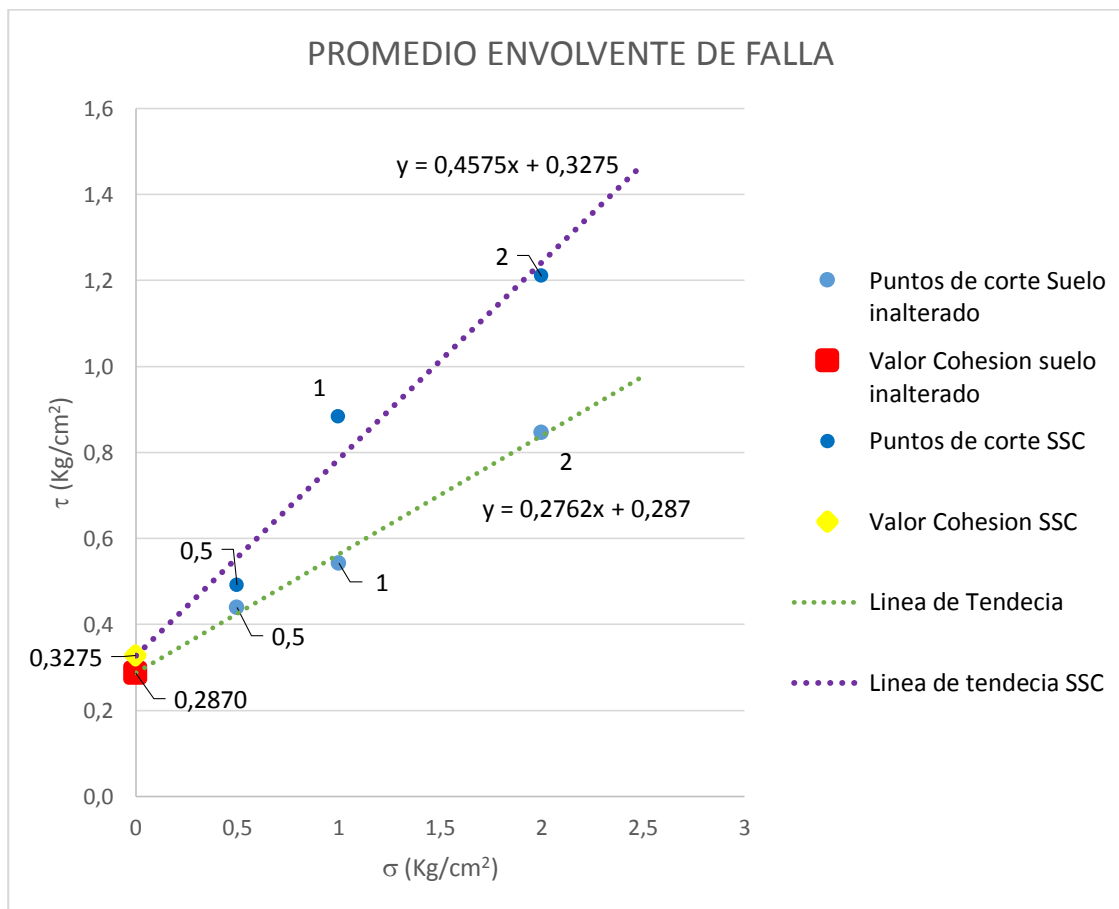
| σ | τ | γ | w (moldeo) | w (corte) |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------|-----------|
| Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ³ | % | % |
| 0 | 0,3275 | ----- | 0 | 0 |
| 0,5 | 0,49 | 0,0020031 | 15,88 | 16,86 |
| 1 | 0,88 | 0,0020707 | 15,84 | 15,38 |
| 2 | 1,21 | 0,0020302 | 19,36 | 17,61 |

Fuente: autores del proyecto

En base a los promedios anteriores de las tablas 40 y 41 se procede a realizar la gráfica de envolvente de falla donde se realiza el paralelo y la comparación de los resultados de suelo

inalterado y alterado, donde también se demuestra el incremento de la cohesión y el ángulo de fricción.

Figura # 78. Grafica de envolvente de falla promedio suelo (inalterado y alterado)



Fuente: autores del proyecto

Graficamente es notorio el cambio en el ángulo de fricción que pasa de $15,4^\circ$ (para suelo inalterado) a $24,6^\circ$ (para suelo alterado), aproximadamente un aumento del 60% , (el cual es el ángulo que se forma al momento de trazar una horizontal a la línea de tendecia de los 3 puntos de corte en la figura 79 y también nos determina la capacidad portante como la resistencia al deslizamiento del suelo); es curioso notar un aumento tan mínimo en la cohesión (punto de corte con el eje de las ordenadas) con respecto al aumento del ángulo de fricción, pero en realidad es

un aumento considerable, debido a que ese 14 % aproximado incrementa la tracción entre partículas y las características del suelo, como su contenido de humedad.

8.3 CBR

En el caso de la realización de esta ensayo de laboratorio se procedio añadir 2% mas de humedad aparte de la humedad óptima del 12 % (vease en tabla 9), debido a la gran cantidad de material con el cual se trabajo, y asumiendo que este 2 % adicional es el que toma como perdida por las condiciones de temperatura al momento de mezclar y compactar el suelo en los moldes correspondientes; en la tabla 42 se da a conocer el promedio respectivo del % CBR y de la densidad seca para tanto suelo inalterado como alterado en el ensayo de CBR realizado.

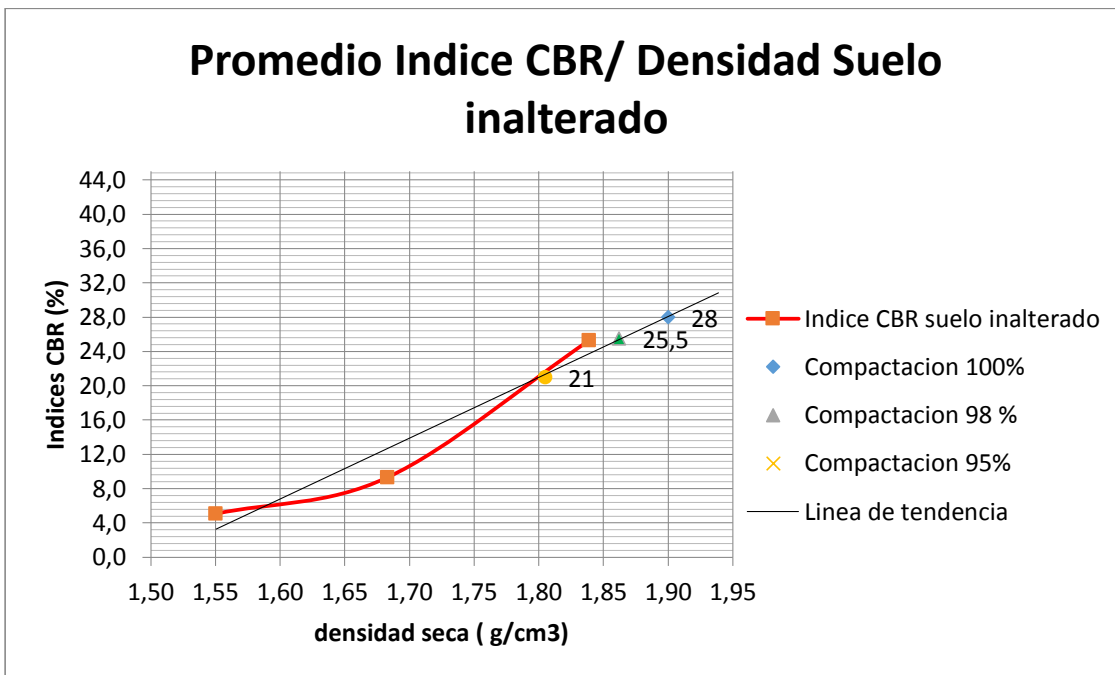
Tabla # 42 Promedio de resultado CBR suelo (inalterado y alterado)

| | Ensayo | 10 golpes | | 25 golpes | | 56 golpes | |
|---------------------------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | CBR 10 golpes | Densidad Seca | CBR 25 golpes | Densidad Seca | CBR 56 golpes | Densidad Seca |
| unidades | | % | (g/cm3) | % | (g/cm3) | % | (g/cm3) |
| Suelo inalterado | 1 | 9,033 | 1,56 | 10,583 | 1,723 | 28,738 | 1,865 |
| | 2 | 3,408 | 1,582 | 6,99 | 1,652 | 27,33 | 1,847 |
| | 3 | 2,767 | 1,509 | 10,359 | 1,674 | 19,806 | 1,805 |
| PROMEDIO | | 5,069 | 1,550 | 9,311 | 1,683 | 25,291 | 1,839 |
| Suelo + STASOIL + cemento | 1 | 7,606 | 1,718 | 14,654 | 1,777 | 43,01 | 1,906 |
| | 2 | 5,241 | 1,675 | 12,156 | 1,739 | 43,204 | 1,88 |
| | 3 | 7,182 | 1,602 | 12,356 | 1,783 | 42,427 | 1,906 |
| PROMEDIO | | 6,676 | 1,665 | 13,055 | 1,766 | 42,880 | 1,897 |

Fuente: autores del proyecto

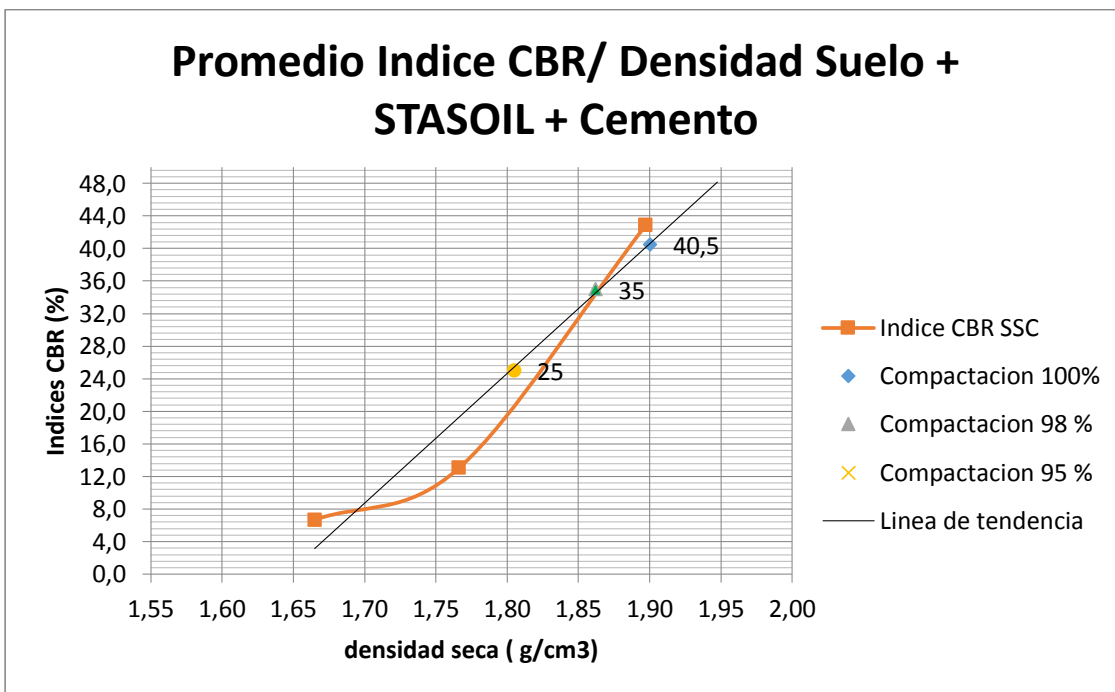
En la figura 80 y 81 se muestra los promedios ilustrados para cada uno de los suelos clasificados en la tabla 42 (suelo inalterado y suelo + STASOIL + cemento), esto, para que se cualifique graficamente un poco mas el cambio de los datos obtenidos con la adicción de este sistema coloidal, respecto al % CBR.

Figura # 79. Grafica promedio índice CBR/Densidad suelo inalterado



Fuente: autores del proyecto

Figura # 80. Grafica promedio índice CBR/Densidad suelo + STASOIL + Cemento



Fuente: autores del proyecto

En la tabla 43 se presenta el % CBR general para el suelo con compactaciones del (100,98 y 95) %, como lo reglamenta la norma INVIAS del 2013.

Tabla # 43 Resultado %CBR suelo (inalterado y alterado)

| % compactacion | Densidad Seca (g/cm3) | % CBR suelo inalterado | % CBR suelo + STASOIL + cemento | % aumento %CBR |
|----------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|----------------|
| 100 | 1.9 | 28 | 40.5 | 44.64 |
| 98 | 1.862 | 25.5 | 35 | 37.25 |
| 95 | 1.805 | 21 | 25 | 14.04 |

Fuente: autores del proyecto

En este caso la densidad obtenida del ensayo de proctor modificado o ensayo de compactación, es el marco de referencia para sacar los porcentajes de compactación del (100,98 y 95) %, en cuestión de aumento como se ve en la tabla 43, los valores van directamente proporcional al grado de compactacion.

9.CONCLUSIONES

- Como resultado de comprobar la efectividad del sistema transportado de coloides (S.T.C), en este proyecto específicamente como STASOIL (producto registrado y suministrado por KEMTEK S.A.S), en la estabilizacion de un suelo arcilloso de ligera plasticidad, se comprueba el aumento de la resistencia frente a cargargas axiales (compresión simple), aumento de la resistencia a la penetración de suelos (CBR), y aumento en las propiedades de resistencia a los esfuerzos cortantes (corte directo).
- Se determinó la caracterizacion del material proveniente del talud, al cual se tomo como muestra representativa del material analizado en este trabajo de grado, siguiendo normatividad INVIAS 2013, suelo fino cohesivo; material arcilloso con presencia de limos de baja a media plasticidad según clasificacion SUCS.
- En el area de la vías, las características de resistencia de los materiales son tomadas de ensayos tipo CBR y corte directo, tras la ejecución de este trabajo de grado se observó que dichas propiedades de resistencia han mejorado mediante la adición de una cantidad muy baja de sistemas coloidales (STC), lo anterior confirma su aplicabilidad para el mejoramiento de las capas de sub rasantes en los pavimentos, donde los materiales son predominantemente finos tipo limos y arcillas.
- En el area de cimentaciones, las características de resistencia de los materiales son analizadas por medio de ensayos de corte directo y compresión simple, tras la ejecución de este trabajo de grado, se presentaron resultados positivos y en aumento de las cargas axiales, los ángulos de fricción y cohesión del suelo

empleado, por ende se confirma la aplicabilidad del sistema coloidal para sub rasantes en una fundación, donde los materiales son predominantemente finos tipo limos y arcillas.

- Para el diseño de una estructura de pavimento, una de las variables más importantes es el valor de CBR del suelo de fundación, sí la sub rasante presenta valores altos de CBR, los espesores de las capas de pavimento se verán reducidos, pero manteniendo las propiedades de diseño, el empleo de suelo estabilizado con STC se podría concluir en un beneficio económico durante un proyecto.
- Para el diseño de una zapata, independientemente de cualquier tipo, la variable más importante es el máximo esfuerzo a carga axial del suelo de fundación, por ende, sí el q_u (max) aumenta como se presentó en este proyecto de grado, el predimensionamiento de la zapata va ser efectiva, reduciendo material y dimensiones.
- Debido a que el sistema coloidal con una composición química inocua, es decir que no tiene efectos nocivos en su manejo, aplicación y resultados, por ende lo hace racionalmente ecológico y amigable ambientalmente, garantizando ventajas no contaminantes para el suelo.

10. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Los resultados de los ensayos de compactación o proctor modificado, compresión simple, corte directo y CBR se pueden ver afectados por causas externas, tales como temperatura ambiente, humedad y manipulación sin guantes del material a ensayar.
- Se recomienda la implementación del sistema coloidal en la estabilización de suelos con baja a media plasticidad, que van a ser sometidos a cargas axiales o esfuerzos axiales, debido a que las características de los coloides proporcionan unas características positivas al suelo.
- Se recomienda la implementación de sistemas coloidales en suelos que serán subrasantes o bases de una estructura de pavimento, pero con una muy buena compactación se puede omitir la carpeta asfáltica.
- Debido a que se implementó cemento como complemento del sistema coloidal, se recomienda la buena aplicación y el orden debido, ya que el cemento reacciona directamente con el agua, por lo cual puede perderse material, tanto cemento, suelo o sistema coloidal.

11.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] FIUBA (facultad de ingeniera universidad de Buenos Aires), Departamento de transporte, *Apunte pavimentos*.
<http://materias.fi.uba.ar/6807/contenidos/Apunte%20Pavimentos.pdf>
- [2] Montejo, A. M (2006). Evaluación de pavimentos en servicio y diseño de obras de mejoramiento. En S. Valbuena (Ed). *Ingeniería de Pavimentos* (pp.155-261). Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- [3] Cimentaciones. Construmatica, Arquitectura, ingeniería y construcción, portal buscador y comunidad (2016).
<http://www.construmatica.com/construpedia/Cimentaciones>
- [4] INVIAS (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS). *Compresión inconfiada en muestras de suelos, I.N.V.E-152-07. (2013)*
http://labsueloscivil.upbbga.edu.co/sites/default/files/Norma%20INV%20E-152-07_0.pdf
- [5] INVIAS (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS). *Determinación de la resistencia al corte método de corte directo (consolidado drenado), I.N.V.E-154-07. (2013)*.
ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-154-07.pdf
- [6] Osorio Martínez, J. Casas Gerena, A. (2011). *Correlacion P.D.C con C.B.R para suelos en la localidad de suba*. Tesis de especialización de ingeniería de pavimentos no publicada, Universidad Militar Nueva Granada, Bogota D.C.
- [7] INVIAS (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS). *Relacion de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) I.N.V.E-148-07. (2013)*.
ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-148-07.pdf
- [8] Ojeda Herrera, S. *Determinación ensayo capacidad de soporte del suelo. (CBR)*.
http://ingeconuvdocs.weebly.com/uploads/8/9/4/7/8947127/capacidad_de_soporte_del_suelo.pdf
- [9] Tupia Cordova, C. Alva Hurtado, J. (2001). *Evaluación de las capacidades de soporte del terreno por medio de un equipo de penetración dinámica*. XI Congreso Ibero-Latinoamericano del asfalto.
- [10] Chang Chang, L. (). *C.B.R (California Bearing Ratio)*. Laboratorio geotécnico, Universidad Nacional de Ingeniería FIC-CISMID (Centro Peruano Japonés de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres).

[11] STASOIL, Nano tecnología en la construcción. *Estabilización de suelos SIN material seleccionado, Obras amigables con el medio ambiente, Mayor calidad a menor costo*. Recuperado de <http://stasoil.blogspot.com.co/>. (2016)

[12] Pastrana, H. Ávila, A. Moreno, G. (2012). Nanotecnología, patentes y la situación en América latina, *MundoNano*, volumen 5 n° 9, pagina 65.