

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA Y ESTUDIO GEOLÓGICO REGIONAL DE
UN SUELO ARCILLOSO PROCEDENTE DE LA FORMACIÓN BUCARAMANGA**

**RICARDO ANDRÉS SILVA HERNÁNDEZ
JHOAN SEBASTIAN NAVAS POVEDA**

Bo. Lyufainna Torrado G.

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2019

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA Y ESTUDIO GEOLÓGICO REGIONAL DE
UN SUELO ARCILLOSO PROCEDENTE DE LA FORMACIÓN BUCARAMANGA**

**RICARDO ANDRÉS SILVA HERNÁNDEZ
JHOAN SEBASTIAN NAVAS POVEDA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero civil**

**DIRECTORA:
Ing. Msc. LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2019

Nota de Aceptación

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por darme salud y fortaleza, para continuar con cada meta que me propongo.

Quiero agradecer a mis padres Fabio Iván Silva Santos y Martha Cecilia Hernández Benavides por el apoyo económico, valores inculcados y la confianza depositada en mí, sin ellos no hubiera sido posible lo que soy hoy en día.

A las familias Silva y Hernández por sus buenos deseos y su confianza en mí, a la Universidad Pontificia Bolivariana y a su facultad de Ingeniería Civil por darme los conocimientos y herramientas necesarias para finalizar mi carrera.

A nuestra directora del proyecto Ing. Msc Luz Marina Torrado Gómez por su tiempo y conocimientos, al personal encargado del Laboratorio de Geotecnia y Pavimentos por su disposición y conocimientos, A todos los compañeros y profesores que me acompañaron durante este proceso.

RICARDO ANDRÉS SILVA HERNÁNDEZ

Agradezco a mis padres, María Elena Poveda Ardila y Oliverio Navas Rodríguez, por sus sacrificios en pro de mi bienestar y brindarme la oportunidad de lograr este título. A mi hermano mayor e ingeniero civil, Oliver Andrés Steven Navas Poveda, por ser un referente y ejemplo que seguir de integridad y profesionalismo.

Además, agradezco a mi hermano menor Nicolas Santiago Navas Poveda y a mi hija Sara Helena Navas Chinchilla, por ser mi motor y razón en esta búsqueda de un mundo mejor para ellos y las futuras generaciones, a quienes sin importar sus gustos, creencias o profesiones tendrán mi amor incondicional.

A nuestra directora de proyecto Ing. Msc Luz Marina Torrado Gómez por aceptarnos y guiarnos durante este proceso al brindarnos parte de su valioso tiempo, así como al personal del laboratorio de suelos y a la Universidad Pontificia Bolivariana, que, con su gran sentido humano reflejado en la mayoría de los docentes, forjaron en mí una mejor persona.

JHOAN SEBASTIAN NAVAS POVEDA

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	22
1. OBJETIVOS	23
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	23
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	23
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
3. JUSTIFICACIÓN	25
4. ALCANCE	26
5. ANTECEDENTES	27
6. MARCO TEÓRICO	29
6.1 LOCALIZACION DEL ESTUDIO	29
6.1.1 LOCALIZACION DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA	29
6.1.2 DESCRIPCION GEOGRAFICA	30
6.1.3 CLIMA.....	30
6.2 GEOLOGIA	31
6.2.1 ESTRUCTURAS GEOLOGICAS	32
6.3 GEOLOGIA LOCAL.....	35
6.3.1 FORMACION BUCARAMANGA	35
6.3.2 FORMACION DIAMANTE	36

6.3.3 DEPOSITOS ALUVIALES DEL CUATERNARIO.....	37
6.3.4 FALLA RIO FRIO	38
6.3.5 FALLA MORRORICO	38
6.3.6 FALLA RIO DE ORO	39
6.4 GENERALIDADES SOBRE EL SUELO	39
6.4.1 FORMACION DE LOS SUELOS	39
6.4.2 EL SUELO Y SU ORIGEN	41
6.4.3 GEOTECNIA.....	43
6.4.4 TIPOS DE SUELOS.....	43
6.4.5 SUELOS FINOS	46
6.4.6 SUELOS EXPANSIVOS	46
6.5 CARACTERISICAS DE LOS SUELOS	47
6.5.1 GRANULOMETRIA.....	47
6.5.2 PLASTICIDAD	48
6.5.3 LIMITES DE ATTERBERG	49
6.5.4 LIMITE LIQUIDO.....	49
6.5.5 LIMITE PLASTICO.....	50
6.5.6 LIMITE DE CONTRACCION.....	50
6.5.7 OTROS ENSAYOS DE ESTUDIO	51
7 METODOLOGÍA.....	53
7.1 REVISION BIBLIOGRAFICA.....	53

7.2 RECOLECCION Y ALMACENAMIENTO DEL SUELO	53
7.3 DETERMINACIÓN DE LA CLASIFICACION Y PROPIEDADES INDICE DEL SUELO	54
7.3.1 Ensayo de Granulometría por Tamizado con lavado por el tamiz 200 (INVE – 123 – 13)	54
7.3.2 Ensayo de Limite Liquido (INV E – 125 – 13)	55
7.3.3 Ensayo de Limite Plástico (INV E – 126 – 13)	57
7.3.4 Ensayo de Limite de Contracción (INV E – 127 – 13).....	58
7.3.5 Ensayo de Compactación Proctor Modificado (INV E – 142 – 13).....	61
7.3.6 Ensayo de Expansión Libre (INV E – 132-13)	65
7.3.7 Ensayo de Presión de Expansión (INV E – 120 – 13).....	66
7.3.8 Ensayo de Corte Directo (INV E – 154 – 13)	68
7.3.9 Ensayo de Consolidación (INV E – 151 – 13).....	70
7.3.10 Ensayo de Compresión Inconfínada (INV E – 152 – 13).....	72
8 DATOS OBTENIDOS	75
8.1 ENSAYOS DE CLASIFICACION.....	75
8.1.1 Ensayo de Granulometría	75
8.1.2 Ensayo de Limite Líquido.....	79
8.1.3 Ensayo Limite Plástico.....	83
8.1.4 Ensayo de Limite de Contracción	85
8.1.5 Ensayo de Humedad Natural.....	87

8.2 DETERMINACION DE PROPIEDADES MECANICAS	88
8.2.1 Ensayo de Compactación (Proctor Modificado)	88
8.2.2 Ensayo de Compresión Simple.....	93
8.2.3 Ensayo de Presión de Expansión	95
8.2.4 Ensayo de Expansión Libre	98
8.2.5 Ensayo de Consolidación	100
8.2.6 Ensayo de Corte Directo.....	102
9 ANÁLISIS DE RESULTADOS	105
9.1 PROPIEDADES INDICE Y CLASIFICACION DEL SUELO.....	105
9.1.1 Granulometría.....	105
9.1.2 Limite liquido.....	106
9.1.3 Limite Plástico.....	108
9.1.4 Humedad Natural.....	110
9.1.5 Clasificación del suelo SUCS.....	110
9.1.6 Clasificación del suelo AAHSTO.....	111
9.1.7 Límite de Contracción	113
9.2 PROPIEDADES MECANICAS	115
9.2.1 Proctor Modificado	115
9.2.2 Compresión Simple.....	116
9.2.3 Presión De Expansión	118
9.2.4 Expansión Libre	119

9.2.5 Consolidación	120
9.2.6 Corte Directo.....	121
9.3 ESTUDIO GEOLOGICO.....	121
9.3.1 FORMACIÓN BOCAS	122
9.3.2 FORMACIÓN DIAMANTE	123
9.3.3 FORMACIÓN GIRÓN	123
9.3.4 GNEIS DE BUCARAMANGA.....	123
9.3.5 FORMACION BUCARAMANGA	124
9.3.6 FALLA DE BUCARAMANGA	127
9.3.7 FALLA DEL SUAREZ	127
10 CONCLUSIONES.....	129
11 RECOMENDACIONES.....	132
12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134
13. ANEXOS.....	137
13.1 ANEXO REGISTRO FOTOGRAFICO.....	137
13.2 ANEXO GRANULOMETRIA.....	144
13.3 ANEXO LIMITE LÍQUIDO.....	149
13.4 ANEXO LIMITE PLASTICO.....	153
13.5 ANEXO LIMITE DE CONTRACCION.....	156
13.6 ANEXO PROCTOR.....	161
13.7 ANEXO COMPRESION SIMPLE	166

13.8 ANEXO PRESION DE EXPANSION	171
13.9 ANEXO EXPANSION LIBRE.....	173
13.10 ANEXO CONSOLIDACION	173
13.11 ANEXO CORTE DIRECTO	184

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros meteorológicos	31
Tabla 2. Unidades litológicas área metropolitana	35
Tabla 3. Clasificación del suelo según su tamaño.	45
Tabla 4. Resultado No.1 de Granulometría.....	75
Tabla 5. Resultado No.2 de Granulometría.....	76
Tabla 6. Resultado No.3 de Granulometría.....	77
Tabla 7. Resultado No.4 de Granulometría.....	78
Tabla 8. Resultado No.5 de Granulometría.....	78
Tabla 9. Resultado No.1 de Limite líquido.	79
Tabla 10. Resultado No.2 de Limite líquido.	80
Tabla 11. Resultado No.3 de Limite líquido.	81
Tabla 12. Resultado No.4 de Limite líquido.	82
Tabla 13. Resultado No.5 de Limite líquido.	82
Tabla 14. Resultado No.1 de Limite plástico.....	83
Tabla 15. Resultado No.2 de Limite plástico.....	84
Tabla 16. Resultado No.3 de Limite plástico.....	84
Tabla 17. Resultado No.4 de Limite plástico.....	84
Tabla 18. Resultado No.5 de Limite plástico.....	84
Tabla 19. Resultado No.1 de Límite de contracción.	85
Tabla 20. Resultado No.2 de Límite de contracción	85
Tabla 21. Resultado No.3 de Límite de contracción	86
Tabla 22. Resultado No.4 de Límite de contracción	86
Tabla 23. Resultado No.5 de Límite de contracción	87

Tabla 24. Recopilación resultados Humedad natural.....	87
Tabla 25. Resultado No.1 de Proctor modificado.....	88
Tabla 26. Resultado No.2 de Proctor modificado.....	89
Tabla 27. Resultado No.3 de Proctor modificado.....	90
Tabla 28. Resultado No.4 de Proctor modificado.....	91
Tabla 29. Resultado No.5 de Proctor modificado.....	92
Tabla 30. Resultado No.1 de Compresión simple.....	93
Tabla 31. Resultado No.2 de Compresión simple.....	94
Tabla 32. Resultado No.3 de Compresión simple.....	94
Tabla 33. Resultado No.4 de Compresión simple.....	95
Tabla 34 .Resultado No.5 de Compresión simple.....	95
Tabla 35. Resultado No.1 de Presión de expansión	96
Tabla 36. Resultado No.2 de Presión de expansión.....	96
Tabla 37. Resultado No.3 de Presión de expansión.....	97
Tabla 38. Resultado No.4 de Presión de expansión.....	97
Tabla 39. Resultado No.5 de Presión de expansión.....	97
Tabla 40. Resultado No.1 de Expansión libre.....	98
Tabla 41. Resultado No.2 de Expansión libre.....	98
Tabla 42. Resultado No.3 de Expansión libre.....	99
Tabla 43. Resultado No.4 de Expansión libre.....	99
Tabla 44. Resultado No.5 de Expansión libre.....	99
Tabla 45. Resultado No.1 de Consolidación.....	100
Tabla 46. Resultado No.2 de Consolidación.....	101
Tabla 47. Resultado No.3 de Consolidación.....	101
Tabla 48. Resultado No.4 de Consolidación.....	101

Tabla 49 Resultado No.5 de Consolidación.....	102
Tabla 50. Resultado No.1 de Corte directo.....	103
Tabla 51. Resultado No.2 de Corte directo.....	103
Tabla 52. Resultado No.3 de Corte directo.....	104
Tabla 53. Resultado No.4 de Corte directo.....	104
Tabla 54. Resultado No.5 de Corte directo.....	104
Tabla 55. Recopilación de datos de granulometría.....	106
Tabla 56. Recopilación de datos de Limite líquido.....	107
Tabla 57. Predicción de la expansividad del suelo según Limite líquido.....	107
Tabla 58. Recopilación de datos de limite Plástico.....	108
Tabla 59. Recopilación Limite líquido, limite plástico, índice de plasticidad.....	109
Tabla 60. Grado de expansión del suelo según índice de plasticidad.....	109
Tabla 61. Recopilación Humedad natural.....	110
Tabla 62. Clasificación del suelo en estudio.....	111
Tabla 63. Recopilación Límite de contracción, relación de contracción, cambio volumétrico y contracción lineal.....	113
Tabla 64. Criterios de expansividad.....	114
Tabla 65. Estimación cambio volumétrico en suelos expansivos.....	114
Tabla 66. Clasificación del potencial de expansión.....	115
Tabla 67. Grado de expansión del suelo.....	115
Tabla 68. Recopilación Humedad optima y Peso unitario seco.....	116
Tabla 69. Recopilación resultados Compresión simple.....	117
Tabla 70. Identificación de consistencia según Qu.....	118
Tabla 71. Recopilación resultados Presión de expansión.....	118
Tabla 72. Peligro de expansión según CVP.....	119

Tabla 73. Recopilacion de resultados Ensayo de expansión libre	120
Tabla 74. Recopilacion de resultados Ensayo Consolidación.....	120
Tabla 75. Recopilación de resultados Ensayo corte directo.....	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización municipio de Bucaramanga.....	29
Figura 2. Localización geográfica Bucaramanga.	30
Figura 3. Tipos de pliegues.....	33
Figura 4. Falla Normal	34
Figura 5. Estados del suelo según su contenido de humedad.....	49
Figura 6. Granulometría, tamices, balanza, recipientes.....	54
Figura 7. Limite líquido, material, recipiente.....	56
Figura 8. Limite líquido, cazuela de Casagrande.....	56
Figura 9. Límite de contracción, muestras, capsulas.	59
Figura 10. Límite de contracción, muestras secas.....	60
Figura 11. Limite de contracción, desplazamiento mercurio.	60
Figura 12. Compactación Proctor, material.....	62
Figura 13. Compactación, mezcla, humedad.....	63
Figura 14. Proctor, muestra compactada.	64
Figura 15. Ensayo de compactación, muestras de humedad.	64
Figura 16. Expansión Libre, pobretas de 100ml.....	65
Figura 17. Aparate de Lambe	66
Figura 18. Montaje de muestra en aparato de Lambe.	67
Figura 19. Lectura final del ensayo de presión de expansión.	68
Figura 20. Máquina de corte directo	68
Figura 21. Corte directo en muestra de suelo.	70
Figura 22. Proctor modificado con humedad optima.....	70
Figura 23. Muestra para ensayo de consolidación.....	71

Figura 24. Cámara de consolidación armada.	71
Figura 25. Extracción de muestras de compresión simple.....	72
Figura 26. Muestra compresión simple	73
Figura 27. Compresión simple, muestra sometida a carga.	73
Figura 28. Muestra de suelo, determinación de humedad.	74
Figura 29. Angulo de inclinación de rotura.....	74
Figura 30. Índice de Grupo clasificación aashto	112
Figura 31. Clasificación Método aashto	112
Figura 32. Panorámica de miembros que conforman la formación Bucaramanga	124
Figura 33. Perfil típico y espesor de formación Bucaramanga.....	126

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Curva Granulométrica de un suelo areno limoso.....	48
Gráfica 2. Carta de plasticidad Casagrande.	48
Gráfica 3. Curva Granulométrica No.1	76
Gráfica 4. Curva Granulométrica No.2.....	77
Gráfica 5. Curva Granulométrica No.3.....	77
Gráfica 6. Curva Granulométrica No.4.....	78
Gráfica 7. Curva Granulométrica No.5.....	79
Gráfica 8. Limite líquido No.1.....	80
Gráfica 9. Limite líquido No. 2.....	81
Gráfica 10. Limite líquido No. 3.....	81
Gráfica 11. Limite líquido No. 4.....	82
Gráfica 12. Limite líquido No.5.....	83
Gráfica 13. Curva de Compactación No.1.....	89
Gráfica 14. Curva de Compactación No.2.....	90
Gráfica 15. Curva de Compactación No.3.....	91
Gráfica 16. Curva de Compactación No.4.....	92
Gráfica 17. Curva de Compactación No.5.....	93
Gráfica 18. Recopilación Curvas Granulométrica	105
Gráfica 19 Carta de Casagrande para suelos cohesivos.....	111
Gráfica 20. Recopilacion Curvas de compactación.....	116
Gráfica 21. Recopilación Graficas Esfuerzo vs Deformación.....	117
Gráfica 22.Indice de expansión vs Cambio Volumétrico Potencial (Cvp).....	119

Gráfica 23. Mapa geológico de Bucaramanga122
Gráfica 24 Mapa de fallas geológicas de Bucaramanga127

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA Y ESTUDIO GEOLÓGICO DE UN SUELO ARCILLOSO PROCEDENTE DE LA FORMACIÓN BUCARAMANGA

AUTOR(ES): RICARDO ANDRÉS SILVA HERNÁNDEZ
JHOAN SEBASTIAN NAVAS POVEDA

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Ing. Msc. LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ

RESUMEN

El siguiente proyecto de grado posee lo relacionado a un proyecto de investigación realizado sobre una arcilla de alta plasticidad, en el documento encontrarán los cálculos y resultados encontrados necesarios para la caracterización geotécnica y estudio geológico de este tipo de suelo, para la caracterización del suelo se llevaron a cabo (5) pruebas, la realización de cada ensayo se hizo siguiendo las normas INVIAS, la investigación se encuentra dividida en dos partes. Para empezar, se llevó a cabo la caracterización geotécnica, para esto se realizaron ensayos de laboratorio con el fin de encontrar las propiedades mecánicas y índice del suelo (Granulometría, Límites de atterberg, Humedad Natural, Límite de contracción, Presión de Expansión, Expansión Libre, Compresión Simple, Proctor modificado, Corte Directo y Consolidación). Una vez finalizada la primera parte se continúa realizando la segunda parte, el estudio geológico de la zona, para esto fue necesario llevar a cabo una revisión bibliográfica de la geología del sector.

PALABRAS CLAVE:

Caracterización, Geología, Geotecnia, Estudio, Ensayos

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION AND GEOLOGICAL STUDY OF AN ARCILLOSO FLOOR FROM THE BUCARAMANGA FORMATION

AUTHOR(S): RICARDO ANDRÉS SILVA HERNÁNDEZ
JHOAN SEBASTIAN NAVAS POVEDA

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Ing. Msc. LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ

ABSTRACT

The following degree project has what is related to a research project carried out on a clay of high plasticity, in the document you will find the calculations and results found necessary for the geotechnical characterization and geological study of this type of soil, for the characterization of the soil They carried out (5) tests, the performance of each trial was done following INVIAS, the investigation is divided into two parts. To begin with, the geotechnical characterization was carried out, for this laboratory tests were carried out in order to find the mechanical properties and soil index (Granulometry, Atterberg limits, Natural Humidity, Contraction limit, Expansion Pressure, Free Expansion , Simple Compression, Proctor modified, Direct Cut and Consolidation). Once the first part is finished, the second part continues, the geological study of the area, for this it was necessary to carry out a bibliographic review of the geology of the sector.

KEYWORDS:

Characterization, Geology, Geotechnics, Study, Essays

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

Cuando se empieza a concebir un proyecto desde la prefactibilidad se espera llevar a cabo estudios previos que permitan conocer si la obra puede ejecutarse, algunas dificultades a las que se ven expuestas las obras de infraestructura son los problemas de carácter geológico y geotécnico, muchas veces no se hacen estudios previos completos de la zona en donde va a estar ubicada la vía o la estructura; problemas como trazar un eje vial por un lugar donde es propenso a existir deslizamientos son muy comunes hoy en día.

La información que suministra la geología es de vital importancia para definir la factibilidad de una construcción; mientras se lleva a cabo cualquier obra civil ya sea al inicio en los trabajos de excavaciones o al final de esta, se requiere información geológica. Dependiendo del tipo de obra se hace necesario obtener datos como, litología, discontinuidades, estratigrafía, geomorfología e hidrología.

Por otro lado, las propiedades mecánicas de un suelo representan gran interés en la ingeniería civil ya que las estructuras en su mayoría van a estar ubicadas sobre este, una vez se conozca en donde se va a ubicar la construcción será necesario realizar un estudio geotécnico de la zona para así tomar decisiones del tipo de cimentación a usar y definir si será necesario realizar algún mejoramiento del suelo.

La elaboración de este trabajo de grado permite poner en práctica lo aprendido durante toda la carrera, se llevó a cabo la caracterización geotécnica y geológica de un suelo arcilloso procedente de la ladrillera Santander con el fin de determinar sus propiedades físico-mecánicas.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar, evaluar y caracterizar las propiedades geológicas y geotécnicas de un suelo arcilloso.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Mediante ensayos de laboratorio determinar las características que permitan clasificar el tipo de suelo e identificar las propiedades físico-mecánicas de este.
- Investigar la condición y la ubicación de las formaciones geológicas presentes en el área de estudio.
- Analizar y concluir acerca de los resultados obtenidos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La presencia de suelos plásticos (arcillosos) así como de fallas geológicas, son dificultades a las que se ven expuestas constantemente las obras civiles. Estos retos a los que se ven comprometidos diariamente los ingenieros civiles tienen múltiples soluciones que en su mayoría generan sobrecostos que no están estipulados en el presupuesto y alcance de la construcción.

Colombia es un país en donde muy a menudo se encuentran problemas de tipo geológico y geotécnico; estos contratiempos se deben a que el país está constituido en su mayoría por un relieve topográfico montañoso, así mismo, el territorio nacional está compuesto por 3 grandes cordilleras que se mantienen en movimiento constante generando diariamente nuevos retos en el ámbito geológico.

Con este trabajo se busca analizar la problemática de la presencia de un suelo arcilloso, para un sector ubicado en la ladrillera Santander, mediante la caracterización geotécnica y geológica completa del mismo, en donde podrán ser concebidos proyectos de construcción, se busca hacer la caracterización con el fin de predecir cómo se podrá comportar el suelo con la presencia de agentes externos como el agua; los estudios geotécnicos y geológicos se realizan buscando prevenir posibles desastres que puedan presentarse por el comportamiento natural del suelo.

3. JUSTIFICACIÓN

Colombia es un país geológicamente dinámico que ha sufrido a lo largo de su historia problemas geológicos y geotécnicos, estas dificultades son originadas por el movimiento tectónico de las placas que conforman el país, nuestro territorio se encuentra constituido por 4 placas litosféricas nazca, caribe, cocos y Sudamérica ,la actividad continua de estas placas dio lugar al nacimiento de las 3 cordilleras que constituyen nuestra nación, el movimiento de esta cadena de montañas se mantiene constante hasta hoy, como se manifiesta con la reiterada actividad sísmica que presenta diariamente el territorio nacional.

La presencia de fallas geológicas y geotécnicas, así como la existencia de suelos arcillosos representan una dificultad a la hora de llevar a cabo una construcción, cuando una estructura se encuentra cimentada sobre un suelo arcilloso puede ocurrir que el suelo presente asentamientos diferenciales en épocas de lluvia, esto se debe a que la arcilla por su comportamiento natural tiende a absorber agua expandiéndose, cambiando sus características y aspecto solido a una apariencia plástica.

4. ALCANCE

El alcance de este trabajo consistió en identificar y conocer el comportamiento mecánico de un suelo arcilloso mediante ensayos de Proctor, corte directo, consolidación, compresión simple, presión de expansión y expansión libre; simultáneamente se buscó clasificar el suelo mediante las pruebas de granulometría, límite plástico, límite líquido y límite de contracción para la clasificación del suelo se usó el método SUCS y AASHTO.

El lugar donde se llevó a cabo los ensayos de laboratorio será en las instalaciones del laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, la cantidad de ensayos a ejecutar se definió anteriormente adoptándose (5) para cada prueba.

Una vez definido los parámetros geotécnicos del suelo se procedió a investigar el aspecto geológico de la zona de estudio, mediante la información del Sistema Geológico Colombiano, mapas geológicos de la ciudad e información de profesionales del área.

5. ANTECEDENTES

En la ingeniería, la geotecnia y la geología juegan un papel fundamental en el éxito de cualquier proyecto, históricamente se ha demostrado que no tener en cuenta un estudio del suelo es un error que puede conllevar consecuencias fatales, es por lo que los ingenieros deben garantizar un adecuado estudio del área donde se proyecte cualquier infraestructura [1]. Hoy en día se presentan nuevos retos en este campo ingenieril y los ya conocidos son de gran valor investigativo, en relación se presenta una breve síntesis de algunos ejemplos de trabajos de investigación. En el año 2019 en la Universidad Industrial De Santander, se realizó una caracterización geotécnica y petrográfica de núcleos procedentes del Alto Del Escorial, Puente impulsión hasta el puente Tona al Norte del Área Metropolitana de Bucaramanga, bajo la ejecución de algunos ensayos de laboratorio y análisis a las muestras más representativas para definir factores como su resistencia y así brindar un soporte técnico de información valiosa disponible en la Biblioteca de la Universidad. [2]

En el año 2018 en el municipio de Girardot; Cundinamarca se llevó a cabo un Estudio geológico y caracterización geotécnica en el sector de ciudadela Comgirardot, con el fin de establecer las razones más probables de los inconvenientes estructurales que se han presentado en las viviendas del sector, se reconocieron las formaciones Barzalosa y Terrazas aluviales en su composición estratigráfica, las cuales suponen una eficiente capacidad portante del suelo aunque sujeto al aproximamiento del nivel freático del mismo, pues dada la presencia de arcillas es muy susceptible a fenómenos de expansión y licuefacción, por lo que se

recomienda previo a la ejecución de obras civiles realizar los debidos mejoramientos de suelo. [3]

En el año 2019 en la universidad industrial de Santander se realizó un proyecto de grado que consistía en la caracterización geotécnica y geológica sobre la vía Bucaramanga-Alto del escorial a partir de sondeos previamente realizados, en este se identificó que en la zona hay una entremezcla entre los depósitos cuaternarios existentes, requiriendo su cartografía explícita del más reciente al más antiguo, además se pudo concluir que la formación Jordán posee una alta capacidad de carga, sin embargo, en el área aledaña también se encuentra la falla Suratá lo que dificulta un dictamen generalizado, pues a pesar de sus buenas características analizadas en las pruebas, en los afloramientos se observa fracturada con presencia de al menos cuatro familias de diaclasas. [4]

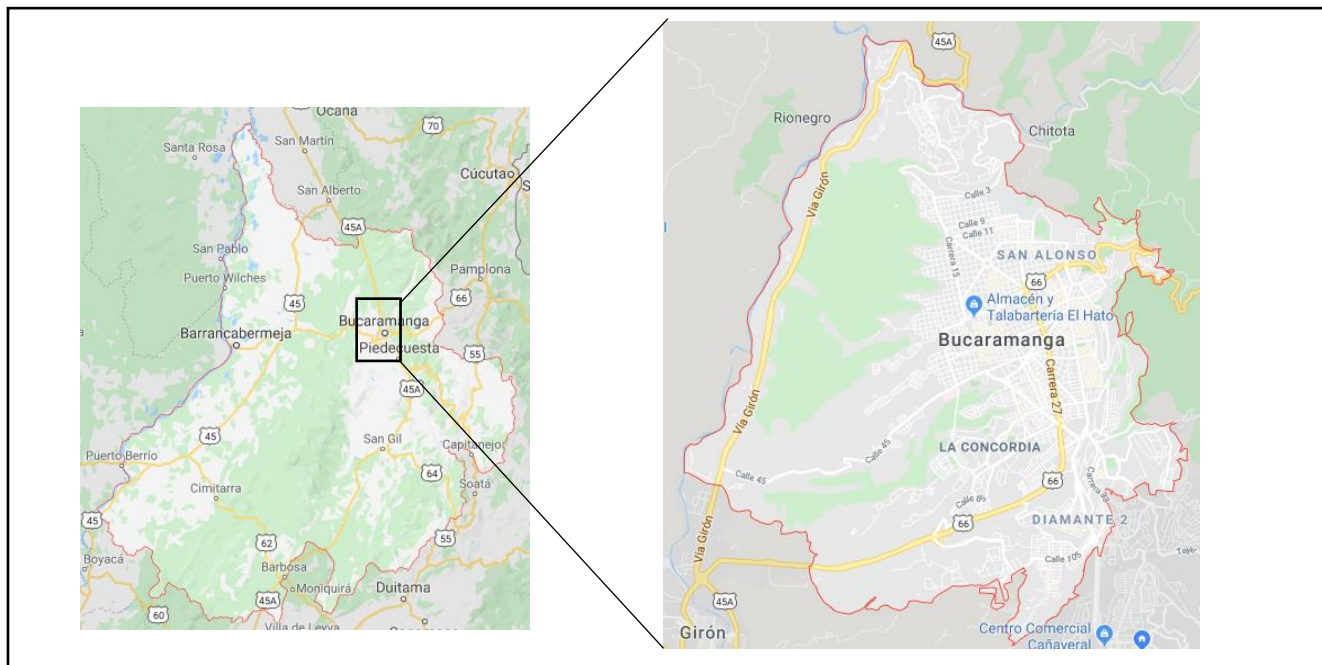
6. MARCO TEÓRICO

6.1 LOCALIZACION DEL ESTUDIO

6.1.1 LOCALIZACION DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA

El municipio de Bucaramanga capital del departamento de Santander, posee un área de 162 km, está ubicada en el nororiente del país sobre una meseta de aproximadamente 980 metros, su población es de 521,857 Habitantes, limita en el norte con Rionegro, en el sur con Floridablanca y Piedecuesta, en el oriente con el municipio de Tona y en el occidente con Lebrija; junto con Floridablanca, Girón y Piedecuesta conforman el área metropolitana de Bucaramanga. [5]

Figura 1. Localización municipio de Bucaramanga.

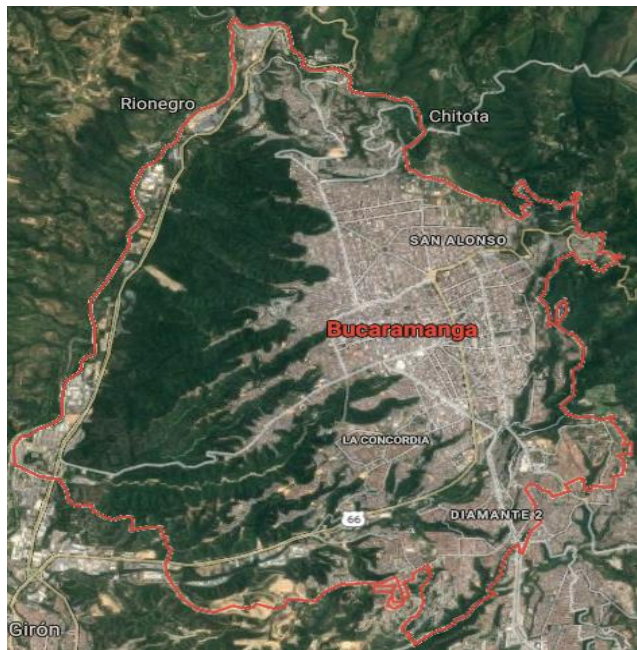


Fuente: Geoportal Google maps.

6.1.2 DESCRIPCION GEOGRAFICA

Bucaramanga se encuentra ubicado geográficamente en las coordenadas 7°08'00" de latitud norte y 73°08'00" latitud occidente, posee coordenadas de X=1.099.00 a 1.110.500 y Y=1.270.500 a 1.285.000; su topografía es 15% plano, 30% ondulado y 55% montañoso, a lo largo de su superficie posee tres grandes cerros. [5]

Figura 2. Localización geográfica Bucaramanga.



Fuente: Google maps

6.1.3 CLIMA

El clima de Bucaramanga tiene una temperatura mínima promedio de 23.7°C a 24°C en la parte norte de la ciudad y 24.3°C en la parte occidental cerca al municipio de Girón, su precipitación es monomodal es decir posee un comportamiento bien definido en el año, presenta en los meses Marzo, Abril, Mayo, Octubre y Noviembre

la temporada de lluvias, los meses más secos del año son los de diciembre, enero y febrero; su pluviosidad anual es aproximadamente de 1.041 mm. [6]

Tabla 1. Parámetros meteorológicos

Medios	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Precipitación	52.4	70.6	131.9	152.9	123.5	89.0	84.4	91.8	92.6	157.0	110.9	57.9
No. Días	8	9	14	18	19	17	18	20	18	20	14	9
T. max. abs.	29.2	30.5	29.6	29.0	29.0	29.2	29.0	30.2	29.4	28.8	29.0	28.4
T. min. abs.	15.0	15.4	15.6	16.7	16.6	15.6	14.2	12.4	15.5	13.0	15.8	15.6
T. max. media.	27.3	27.6	27.9	27.5	27.6	27.6	27.6	28.2	28.0	27.6	26.9	26.9
Temperatura	21.1	21.4	21.6	21.4	21.3	21.3	21.3	21.3	21.1	20.6	20.7	20.7
T. min. med.	16.7	16.9	16.9	17.2	17.3	17.0	16.6	16.4	16.5	16.3	17	16.8
Humedad	82	83	84	87	88	87	85	84	86	89	90	88
Brillo	216.4	163.1	149.1	132.7	152.1	142.6	172.2	155.7	153.7	145.4	148.1	188.6
Evaporación	135.5	128.7	135.2	117.8	122.5	110.4	124.0	121.8	121.1	115.7	127.7	116.5
Nubosidad	4	5	5	6	6	6	5	6	6	6	6	5

Fuente: Plan general para el control de la erosión 2010-2035.

6.2 GEOLOGIA

La geología es una ciencia que busca estudiar los fenómenos propios de la tierra, tiene como objetivo principal conocer la composición y estructura de esta, la palabra geología se origina del griego “geo” Tierra y de “logos” discurso, la geología como ciencia se encuentra dividida en dos grandes áreas: la geología física y la geología histórica; la geología física tiene como fin definir y conocer los materiales que conforman la tierra. La geología histórica en cambio se centra en conocer el origen y evolución de la tierra, esta área tiene como fin dividir cronológicamente los cambios a los que fue expuesto el planeta en el pasado. Entender cómo se comporta la tierra conlleva un reto bastante grande, ya que nuestro planeta es un conjunto dinámico de elementos que cambian constantemente con el tiempo, dichos cambios pueden ser lentos o rápidos, estos cambios naturales propios de la tierra

pueden ser deslizamientos, erupciones volcánicas, terremotos, sismos entre otros; los riesgos a los que se ven expuestas las personas constantemente hacen parte de procesos naturales que en su mayoría son inevitables; con el crecimiento acelerado de la población mundial aumenta la posibilidad de habitar ambientes con problemas geológicos. [7]

6.2.1 ESTRUCTURAS GEOLOGICAS

La rama de la geología llamada geología estructural se encarga de estudiar la composición y desarrollo de los movimientos mecánicos y deformaciones que ocurren en la corteza terrestre, el principal objetivo de esta rama es el de conocer los fenómenos que actúan sobre las rocas; dichos fenómenos ocurren por movimientos tectónicos que en su mayoría son responsables de que las rocas sufran pliegues, fallas y fracturas, estos movimientos que pueden ocurrir de manera rápida o lenta son llamados estructuras geológicas, cuando se desean realizar proyectos de infraestructura civil se llevan a cabo estudios que permitan conocer el tipo de roca y estructura geológica que se presenta o se puede presentar en el futuro en la zona. [7]

6.2.2.1 PLIEGUE

Un pliegue es una estructura geológica que se define como una ondulación que sufren las rocas sedimentarias y metamórficas, dichas rocas tienen cierta plasticidad que permiten que la roca se deforme sin romperse, un pliegue puede tener una longitud pequeña (micropliegues) como también puede tener una magnitud de kilómetros de distancia (mega pliegues).

6.2.2.2 FORMACION DE PLIEGUES

La formación de un pliegue puede ser mediante procesos tectónicos y no tectónicos, cuando es a través de procesos tectónicos se forman por la tensión y compresión horizontal entre rocas, en su mayoría los pliegues se presentan por la fuerza que sufre la roca por el choque entre placas, a su vez mediante los procesos no tectónicos se pueden formar pliegues, por la acción de la gravedad o por procesos químicos.

6.2.2.3 TIPOS DE PLIEGUES

Existen dos grandes tipos de pliegues anticlinal y sinclinal, el anticlinal se define con una forma convexa, presenta en su núcleo las rocas con mayor edad; los pliegues que tienen forma sinclinal tienen aspecto cóncavo y contienen en su núcleo las rocas más jóvenes.

Figura 3. Tipos de pliegues



Fuente: Tarbuck y Lutgens, Ciencias de la tierra, 8va edición.

6.2.2.4 FALLAS

Una falla geológica se define como la fractura y desplazamiento apreciable entre dos bloques de corteza terrestre separados por dicha falla, las longitudes de las fallas varían considerablemente, pueden existir pequeñas fallas de centímetros o

metros de longitud como también existen fallas como la de San Andrés en California que abarcan una gran cantidad de kilómetros. [8]

6.2.2.5 TIPOS DE FALLAS

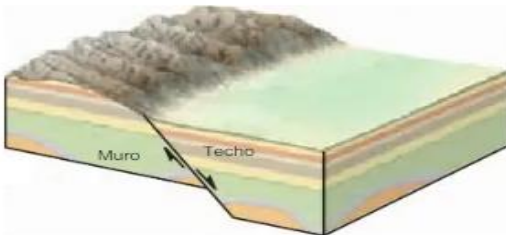
Existen diversos tipos de fallas se diferencian entre sí por la dirección que tiene el movimiento con respecto a la superficie, a continuación, se enuncian los tipos de fallas:

FALLA VERTICAL: Este tipo de falla contiene un plano de falla de forma vertical, se dividen en fallas normales e inversas.

FALLA NORMAL: Es llamada también falla gravitacional es una de las más comunes, presenta un desplazamiento hacia abajo y se produce en su mayoría por la acción de la gravedad

FALLA INVERSA: También nombrada falla de empuje se divide con respecto a su ángulo de inclinación, para ángulos mayores a 45° se nombran fallas inversas o cobijaduras, para ángulos entre 15° y 45° se definen como cabalgamientos, para ángulos de 0 a 15° se denominan mantos de corrimiento.

Figura 4. Falla Normal



Fuente: Tarbuck y Lutgens, Ciencias de la tierra, 8va edición.

6.3 GEOLOGIA LOCAL

Tabla 2. Unidades litológicas área metropolitana

TIPO	NOMBRE	CONVENCION
ROCAS METAMORFICAS	Neis de Bucaramanga	Peb
	Formación Silgará	PDs
ROCAS IGNEAS	Diorita y Tonalita del Area del río Suratá	TRt
	Cuarzomonzonita de La Corcova	JRcl
	Cuarzomonzonita, Granito y Pórfido Cuarzoso	JReg
ROCAS SEDIMENTARIAS	Formación Floresta	Df
	Formación Diamante	Pcd
	Formación Tiburón	TRPt
	Formación Bocas	TRb
	Formación Jordán	Jj
	Formación Girón	Jg
	Formación Tambor	Kita
	Formación Bucaramanga:	
	Miembro Organos	Qbo
	Miembro Finos	Qbf
	Miembro Gravoso	Qbg
	Miembro Limos Rojos	Qblr
	Depósitos de Flujos de Escombros	Qfe
	Depósitos Aluviales:	
	Terrazas Medias	Qal:
	Terrazas Bajas	Qal:
	Llanura de Inundación	Qal
	Depósitos Coluviales	Ql
	Depósitos de Deslizamiento:	Qd
	Deslizamiento Activo	Qda
Deslizamiento Inactivo	Qdi	
Llenos Mecánicos	Qllm	

Fuente: Zonificación sismo geotécnica indicativa del área metropolitana-Ingeominas-2001.

6.3.1 FORMACION BUCARAMANGA

Hace referencia a un gran depósito sedimentario aluvial de edad cuaternario de aproximadamente 130 kilómetros cuadrados, que dado sus factores geográficos es considerado como un abanico aluvial erosionado quizá mayormente por el río Suratá, se acumula sobre una depresión de origen tectónico donde se encuentra ubicado el casco urbano de la ciudad de Bucaramanga. Se encuentra limitado de la siguiente manera: Al Nororiente y Oriente con el Macizo de Santander, al Noroccidente y Occidente con el cerro de Palo Negro y el río de Oro y al sur con la mesa Ruitoque.

El depósito posee un espesor variado, el cual aumenta de oriente a occidente, aunque aún no se ha logrado determinar su valor exacto y este sigue siendo motivo de investigación, basados en algunos cortes geológicos de las zonas más profundas se pueden estimar un valor promedio de 250m.

De Porta en el año 1958 establece a la formación Bucaramanga en los siguientes niveles: a) un paquete inferior con más de 150m de espesor, conformado por niveles discontinuos de gravas, clasto soportado, con lentes arenosos intercalados; b) una capa relativamente delgada de 10 a 18m de espesor, ubicada en la parte intermedia a alta, compuesta de sedimentos arcillosos, la cual se extiende por una buena parte de la terraza; y c) un nivel de 8 a 15 m de espesor, conformado por la combinación de fragmentos angulares gruesos y finos arenosos. Plantea la división de la formación Bucaramanga, de base a pico en los siguientes miembros: órganos (Qbo), Finos (Qbf), Gravoso (Qbg), Limos rojos (Qblr). [9]

6.3.2 FORMACION DIAMANTE

Nombre definido por Dickey (1942), esta formación aflora en el norte del área metropolitana de Bucaramanga, geomorfológicamente se define como un conjunto de rocas sedimentarias con pendientes moderadas, se compone por tres miembros principales:

Miembro Inferior: Se constituye por areniscas con grano fino y grueso, de colores morado, gris y marrón, se intercalan con lodolitas y arcillolitas moradas.

Miembro Medio: Se conforma por lodolitas y areniscas con grano fino de colores verde y gris, se intercalan con rocas carbonatadas de color gris.

Miembro Superior: Dicho miembro aflora en el yacimiento de cementos diamante, se compone por calizas duras ligeramente con presencia de arcillas, cerca de la falla Bucaramanga – Santa Marta las rocas poseen apariencia fracturada y meteorizada.

6.3.3 DEPOSITOS ALUVIALES DEL CUATERNARIO

Son los depósitos de material que los ríos y quebradas mayores abandonan, estos se distribuyen conforme a su altura y posición en los valles. Dividido en Terrazas Medias (Qal2), Terrazas bajas (Qal1) y depósitos aluviales de cauce y llanuras de inundación (Qal).

Depósitos Aluviales de Terrazas bajas (Qal1). Los mayores depósitos de este tipo conforman el área urbana de Girón, Los cortes de terraza, de profundidad inferior a 6 metros, muestran cantos sub redondeados a redondeados de areniscas cuarzosas blancas, amarillentas y resistentes, guijos igneo-metamórficos, algunas areniscas violáceas y fragmentos de cuarzo lechoso con una disposición no uniforme y algunos lentes arenosos.

Depósitos Aluviales de terrazas medias (Qal2). En relación con su nombre, son depósitos de origen aluvial, con una superficie regularmente plana horizontal, pocamente disectados, se encuentran hacia las márgenes de los cauces de agua principales, su granulometría es muy semejante a la de los conos de deyección

descritos en los flujos de escombros, incluso el tamaño máximo de los bloques es también superior a 1 m de diámetro y hay bloques esporádicos de 2m.

Depósitos Aluviales de cauce y llanura de inundación (Qal). Las principales acumulaciones se encuentran ubicadas en los valles y llanuras de inundación de los ríos de Oro, Suratá, del Hato y Frio, además de sus quebradas tributarias como la iglesia de Zapamanga, Suratoque, Aranzoque y en general en toda la red hidrográfica que se desarrolla al occidente del macizo de Santander, sobre todo las corrientes que entallan, de manera profunda, el abanico aluvial conformado por la formación Bucaramanga. Estos depósitos están compuestos por fragmentos de composición y granulometría muy variable. (INGEOMINAS.) [10]

6.3.4 FALLA RIO FRIO

Esta falla geológica tiene aspecto inverso sinistral, tiene un rumbo de N5°W aflora en la vía Bucaramanga-Cúcuta y en cercanías al Rio Frio, se observa a simple vista en la falla roca fracturada altamente meteorizada, esta falla se origina gracias a la falla de Bucaramanga.

6.3.5 FALLA MORRORICO

Descrita inicialmente en el año 1990 por Gonzales y Quintero, Beltrán y Rey (2002) y Vergara (2004), posee un desplazamiento sinistral y se ubica paralelamente a la falla de Bucaramanga.

6.3.6 FALLA RIO DE ORO

Esta falla presenta un tipo de falla inversa, el rumbo de esta estructura es paralelo a la falla rio frio y continua a la dirección del rio de oro, posee una longitud promedio de 21 km. [11]

6.4 GENERALIDADES SOBRE EL SUELO

La influencia del suelo en las estructuras que sobre este se rijan le ha reconocido su importancia en la ingeniería, y no solo el suelo o roca existente en el lugar, sino a toda la variedad que conforma desde su composición mineralógica, estructuración, cantidad, contenido de agua, modo de fluir y demás factores que se alejan un poco más de la definición tradicional de suelo pero que establecen en el tiempo su comportamiento. El Ing. Carlos Crespo Villalaz define suelo como “Una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o mecánica de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan”. [12]

6.4.1 FORMACION DE LOS SUELOS

Todos los suelos son producto de desintegración, ya sea de manera directa o indirecta de rocas sólidas clasificadas como, Ígneas (Procedentes de un proceso de enfriamiento del magma dentro o sobre la superficie de la corteza terrestre), Sedimentarias (Producto de las capas acumuladas por el asentamiento de sedimentos en cuerpos de agua, como mares y lagos) , Metamórficas (Procedentes de la modificación de rocas preexistentes por sometimiento a altas temperaturas o presiones muy altas), la formación del suelo puede verse afectada por factores

tales como naturaleza y composición de la roca madre, condiciones climáticas, en especial temperatura y humedad, condiciones topográficas y generales de terreno (grado de protección o exposición, densidad, tipo de vegetación, entre otras), duración de las condiciones específicas prevalecientes, otros factores como cataclismos, terremotos y actividades humanas, mecanismos y condiciones de acarreo natural.

6.4.1.1 EFECTOS DEL INTEMPERISMO

El intemperismo en general implica varios procesos naturales producto de la acción individual o conjunta de agentes como el viento, lluvia, heladas cambios de temperatura y acción de la gravedad. Cada uno de estos factores en particular Genera sobre la roca un proceso específico del que resulta la desintegración de la roca y según el factor se originará su forma. De ser un proceso de naturaleza química sus minerales se pueden desintegrar de forma y tiempo distintos, según las características y propiedades de estos.

6.4.2.1 EFECTOS DEL TRANSPORTE

En el proceso de movimiento natural se genera una separación selectiva de materiales, estas separaciones dependen del tamaño y la naturaleza de los granos minerales. Como en el caso de los climas áridos y calurosos presencian un polvo fino suspendido en el aire, fácil de transportar a distancias considerables antes de su suspensión total. El agua genera un proceso de movimiento que puede disolver algunos minerales, transportar y/o hacer chocar otros que dependiendo su velocidad de flujo podrá arrastrar grandes cantidades de material, en el caso de velocidades altas existe una mayor sedimentación de los sólidos, primeramente,

gravas, seguidas de arenas gruesas y medianas, y por ultimo las arenas finas y limos. En el caso de las arcillas por el tamaño diminuto de sus partículas suelen llegar hasta la desembocadura del mar. De esta manera los suelos aluviales presentan una separación selectiva, es decir pobremente gradada.

En el proceso de arrastre del agua se da el choque entre partículas y con el lecho del rio, generando abrasión, dando forma redondeada o casi redonda. El movimiento de los hielos también produce un traslado del residuo del intemperismo. Como en el caso de los glaciares que puede transportar grandes cantos a distancias considerable. [12]

6.4.2 EL SUELO Y SU ORIGEN

Las rocas de la corteza terrestre sufren desintegración mecánica y descomposición química y en todo un proceso forma materiales sueltos. En cuanto al termino “suelo” existe una versatilidad en cuanto a su definición, según el área de estudio desde donde se aborde, por ejemplo, como ingeniero civil o geólogo.

Algunos ingenieros civiles definen al suelo como, el conjunto de partículas minerales producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de rocas preexistentes. El Dr. en Ingeniería Alfred R. Jumikis define suelo como sedimentos no consolidados y depósitos de partículas sólidas derivadas de la desintegración de la roca.

El catedrático de la Ingeniería de las Cimentaciones y Vías de comunicación en el Departamento de Ingeniería Civil del instituto Tecnológico y de estudios superiores de monterrey N.L.,México, Ing. Carlos Crespo Villalaz como anteriormente se

mencionó define muy bien “suelo” habla de un proceso de desintegración física donde su composición es la misma, la desintegración es producto de afectaciones del sol, el agua, el viento y los glaciares, en cuanto a los alterados químicamente su constitución mineralógica es diferente al poseído por la roca madre y son producidos principalmente por oxidación, carbonatación, e hidratación.

- Sol

Actúa sobre la roca, calentándola directamente en su exterior, produciendo diferencias de expansión las cuales producen grandes esfuerzos que conllevan a una ruptura de la capa superficial y el desprendimiento de esta. A este proceso se le conoce como exfoliación y cambia de carácter según la localidad, altura sobre el nivel del mar, época del año, tipo de roca. Los cambios de temperatura producen efectos mayores en las rocas duras como las ígneas (granito, andesita, riolita) que en las blandas como sedimentarias (caliza, travertino, dolomita).

- Agua

En efecto a su movimiento, el agua genera una erosión al arrastrar los fragmentos angulosos de las rocas y así producir interacción de unas con otras, haciendo que su forma sea redonda. Además, en forma de lluvia también deja ver su efecto al caer en las superficies pétreas, llena sus cavidades, abre grietas y tiende a llenar los espacios huecos de las rocas y de llegar a su estado sólido produce un fuerte poder de fracturación en la roca que lo encierra, produciendo desintegración en corto plazo. En el mar, el oleaje también genera un proceso erosivo en el impacto sobre las rocas.

- Viento

También es un contribuyente en la erosión del suelo al arrastrar el material más pequeño por la acción de este.

6.4.3 GEOTECNIA

Disciplina de la geología y la ingeniería que estudia secuencias de métodos que producen, de manera directa e indirecta el conocimiento del suelo en diversas zonas de estudio, en las cuales posiblemente se proyecte alguna estructura.

Su correcta ejecución significa muy probablemente el éxito en el campo de la ingeniería, pues cualquier construcción sin un correspondiente estudio de suelos representa una incertidumbre completa sobre la capacidad de soporte de carga, produciendo un inminente riesgo de colapso.

6.4.4 TIPOS DE SUELOS

Se clasifican en función del origen de sus elementos, ya sea por descomposición física y/o químicas de las rocas (inorgánicos) y los suelos que son propiamente de origen orgánico. Si en la acción del intemperismo de las rocas se mantiene en su lugar de origen se concibe como un suelo residual, existen 2 métodos para determinar el tipo de suelo uno es el método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) fue uno de los primeros sistemas de clasificación, fue realizado por Terzagui y Hogentogler en el año 1928, el otro método es el método SUCS (Unified Soil Classification System) fue creado en el año 1942 de acuerdo a este sistema los suelos se dividen en Grava (G) , Arena (S),Limo (M) y Arcilla (C).

6.4.4.1 GRAVAS

Las gravas que son una gran variedad de los desprendimientos de rocas son transportadas principalmente por el agua, en su desplazamiento sufren desgaste en sus aristas, lo que da razón a su forma redondeada. Se presentan en cualquier zona donde hayan sido retransportadas, pero principalmente en lechos y márgenes de los ríos, así como en sus depresiones por el gran acarreo de estas. El diámetro de las partículas consideradas como gravas varían en un rango de 2.0mm hasta 7,62 mm. [1]

6.4.4.2 ARENAS

La arena es una gran variedad de partículas procedente de la denudación de las rocas o en la premura de una trituración artificial. El diámetro de las partículas consideradas como arenas varían en un rango de 0,05 hasta 2.00 mm. En general tiene un origen análogo al de las gravas, es por esto por lo que es muy común encontrarlas juntas, como el caso de la arena de río que generalmente contiene cantidades relativamente grandes de grava y arcilla. La arena en su puro estado no se contrae al secarse ni es plástica y comparada con la arcilla es menos compresible, al aplicar una carga se contrae casi de manera instantánea.

6.4.4.3 ARCILLAS

La arcilla es una gran variedad de partículas sólidas con diámetros menores a 0,005, cuya masa posee la propiedad de volverse plástica al entrar en contacto con agua. Químicamente se define como un silicato de hierro o de magnesio hidratados, su complicada estructura de minerales generalmente es cristalina, está constituido

principalmente por agregados de silicatos de aluminio hidratados, que proceden de la descomposición de minerales de aluminio. Sus partículas son planas y alargadas, por lo cual tienen mayor área superficial por unidad de peso, esta forma es el factor principal para que exista plasticidad en la arcilla al mezclarse con agua.

Estos tipos suelen tener índice de permeabilidad muy bajo debido a que los espacios que existen entre las partículas son muy pequeños y, por ende, son suelos difíciles de drenar. Tardan mayor tiempo en consolidarse debido a la resistencia que presentan respecto al movimiento de la humedad. [1]

Tabla 3. Clasificación del suelo según su tamaño.

Grava	Mayor de 4,75 mm
Arena Gruesa	De 4,75 mm a 2,00 mm
Arena Media	De 2,00 mm a 0,420 mm
Arena Fina	De 0,420 mm a 0,075 mm
Finos (Limos y Arcillas)	Menores de 0,075 mm

Fuente: Mecánica de suelos y cimentaciones, Ing. Carlos Crespo.

6.4.4.4 LIMOS

Los limos son una gran variedad de partículas sólidas finas con un aspecto similar al de la arcilla, su principal diferencia es su cohesión, la cual es más baja en las arcillas. Posee diámetros que van desde los 0,005 mm hasta los 0,05mm, su plasticidad es baja o nula y es relativamente permeable por lo que el agua penetra en el fácilmente.

6.4.5 SUELOS FINOS

En general los suelos finos presentan ángulos de fricción interno bajos, lo cual se traduce en capacidades de soporte bajas, factores de seguridad de taludes bajos. Conociendo esta falencia se decidió trabajar con una muestra de suelo arcilloso a la cual se le hicieron una serie de ensayos de laboratorio para conocer sus características.

La capacidad portante encontrada en los suelos finos es mucho menor en relación a otros tipos de suelos, este problema es más crítico en arcillas y limos, siendo en este primero una de las principales causas de inestabilidad en obras civiles, debido a una gran cantidad de factores dependientes de sus características electroquímicas, que conllevan a una relación inestable con presencia de agua, factor a consideración en locaciones tropicales con fuerte presencia de precipitaciones y alto grado de infiltración en los suelos.

6.4.6 SUELOS EXPANSIVOS

Los suelos expansivos son aquellos que muestran un cambio volumétrico significativo bajo la presencia de agua. Así, ciertas arcillas, en cuya composición entra a formar parte del mineral montmorillonita, tienen espacios entre las láminas que pueden absorber agua provocando su expansión. Estos materiales se conocen como arcillas expansivas, y son la causa de la mayoría de los problemas derivados de la construcción de carreteras o edificios en suelos que tengan esta característica.

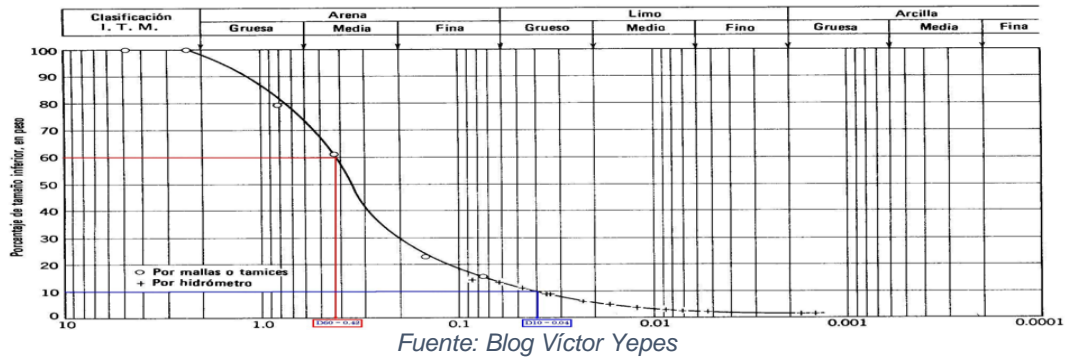
6.5 CARACTERISICAS DE LOS SUELOS

6.5.1 GRANULOMETRIA

Antiguamente se creía que la distribución de las partículas constituyentes de un suelo definía sus propiedades, por lo que era de principal preocupación por parte de los ingenieros encontrar mecanismos que permitieran establecer dicha distribución, hoy en día una no muy dilata experiencia podría deshacer esta teoría. En el caso de suelos gruesos se podría decir que su distribución granulométrica revela algo de sus propiedades mecánicas, como en el caso de las GW (gravas bien graduadas), que poseen ciertas características favorables, en lo que incumbe a ciertas propiedades importantes a diferencia de GP (gravas mal graduadas). También es de resaltar, según lo dicho, que el comportamiento mecánico e hidráulico esta principalmente definido por la compacidad de los granos y su orientación, contrario a la realización de la granulometría, la cual borra toda huella de aquellas propiedades tan decisivas, y genera un anhelo de lo que sería poder realizar una investigación granulométrica de manera tal que representara la estructuración inalterada del material.

En suelos finos inalterados, sus propiedades mecánicas e hidráulicas dependen en tal grado de su estructuración e historia geológica, y no de su distribución granulométrica, sin embargo, se debe estar familiarizado con los criterios técnicos basados en la misma. [13]

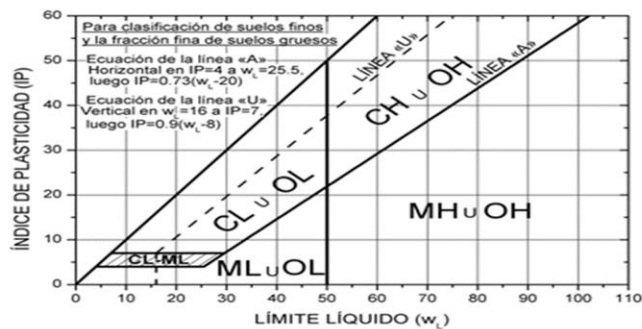
Gráfica 1. Curva Granulométrica de un suelo areno limoso.



6.5.2 PLASTICIDAD

Es una propiedad que no se presenta en todos los suelos, como es el caso de los suelos gruesos, y en cuanto a los suelos fino no es una propiedad permanente, puede variar en función a su contenido de agua. La plasticidad le permite o cohíbe a un suelo deformarse sin sufrir fracturas y para establecerla se emplean los límites de Atterberg, Limite líquido, Limite plástico, Limite de contracción, gracias a la diferencia entre el Limite Líquido y el Limite Plástico resulta el Índice de plasticidad.

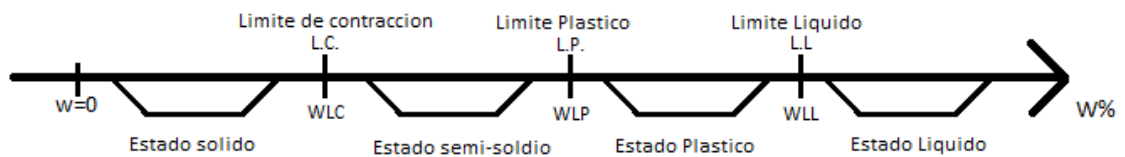
Gráfica 2. Carta de plasticidad Casagrande.



Fuente: ASTM D-2487-93.

En caso de poder establecer un límite plástico se definirá como un suelo no plástico (N.P), por lo que se dice que su índice de plasticidad es igual a cero; cuando es menor a 7 se considera de baja plasticidad, entre 7 y 17 medianamente plástico, y de ser mayor a 17 se define altamente plástico. El índice de plasticidad representa el rango de humedad por el cual los suelos cohesivos adoptan propiedades de material plástico.

Figura 5. Estados del suelo según su contenido de humedad.



Fuente: Digitalizado del libro *mecánica de suelos y cimentaciones*, Carlos Crespo.

6.5.3 LIMITES DE ATTERBERG

La plasticidad es propia de la fracción fina, inicialmente la granulometría nos divide el suelo por tamaños, esto no permite observar y definir el comportamiento plástico del suelo con la presencia de agua, debido a esto el ingeniero químico sueco Albert Atterberg estableció diferentes métodos para dividir los tres estados propios del suelo: líquido, plástico y sólido, a través de estas características se podrá definir qué tan plástico es el suelo. [14]

6.5.4 LIMITE LIQUIDO

El límite líquido se establece como el porcentaje de contenido de humedad respecto al peso seco de la muestra, y donde cambiaría de su estado líquido a plástico, en relación con esto, un suelo plástico tiene en el límite líquido una resistencia mínima

al esfuerzo de corte que según Atterberg es de 25g/cm². Para esta prueba se prepara una mezcla con material que para por el tamiz No. 40 y agua, hasta lograr una buena consistencia (ni muy líquido ni muy seco). Se corta una ranura en el centro de la muestra dispuesta en la cazuela de Casagrande la cual es elevada y posteriormente dejada caer desde una altura de 10mm. Así, su contenido de agua, en porcentaje, requerido para cerrar 13mm a lo largo de la ranura a los 25 golpes se define como el límite líquido.

6.5.5 LIMITE PLASTICO

El límite plástico se establece como el contenido de humedad, en porcentaje, en el cual al enrollar pequeños de cilindro de 3.2mm de diámetro presentan desmoronamiento. El límite plástico es el límite inferior del estado plástico del suelo. La realización de su prueba es simple y se realiza rodando repetidamente una masa de suelo de tamaño elipsoidal sobre una placa de vidrio esmerilado. El procedimiento para la prueba de límite plástico se da en la norma ASTM, designación ASTM D-4318.

6.5.6 LIMITE DE CONTRACCION

Un suelo puede perder o ganar humedad, en el primer caso se contraerá hasta llegará a tal punto que el perder más humedad ya no afectará su volumen. En relación, el contenido de humedad contenido, en porcentaje, cuando en el cambio de volumen de la masa de suelo cesa se conoce como límite de contracción. Para la prueba de límite de contracción se realiza una pastilla con dimensiones previstas y secada al horno, la cual posteriormente se introducirá en un recipiente lleno de mercurio, por lo que conocerá su respectivo volumen.

6.5.7 OTROS ENSAYOS DE ESTUDIO

6.5.7.1 ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS (PROCTOR)

La tenacidad y resistencia del suelo obedece a su grado de compactación y a su densidad entre más compacto se encuentre el suelo más cargas podrá soportar, la resistencia del suelo no depende únicamente de que tan compactado se encuentre, también dependerá de cuánta agua contenga naturalmente, el ensayo de Proctor tiene como fin encontrar la porción optima de agua que permita una mejor compactación. [15]

6.5.7.2 ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

Esta prueba se llevará a cabo en suelos finos cohesivos, se podrá realizar en muestras alteradas e inalteradas, el aparato empleado es una prensa hidráulica, es un ensayo veloz que permite encontrar la resistencia a la compresión Inconfinada (q_u), gracias a este ensayo se podrá encontrar la resistencia al corte (S_u), estará definida como $0,5 \cdot q_u$.

6.5.7.3 ENSAYO DE CORTE DIRECTO

El objetivo principal de este ensayo será el de encontrar la resistencia al corte mediante la máquina de corte directo, esta prueba se desarrolla cortando lateralmente una muestra alterada o inalterada de suelo con una velocidad controlada, para la realización de el corte se tendrán que ensayar 3 especímenes

bajo diferentes cargas normales, una vez obtenidos los datos se podrá realizar la gráfica de envolvente de falla de Mohr-Coulomb, gracias a esta grafica se podrá encontrar la cohesión y el ángulo de fricción del suelo, estas características propias de cada suelo es necesario conocerlas para analizar y dar soluciones a problemas geotécnicos.

7 METODOLOGÍA

7.1 REVISION BIBLIOGRAFICA

Para empezar a materializar la elaboración del proyecto se buscó fuentes de información que dieran la ruta a seguir para realizar un estudio geológico y geotécnico de una zona, conforme se desarrollaba la investigación se llevó a cabo una revisión bibliográfica de libros y artículos relacionados con nuestro tema, tales como libros de mecánica de suelos, tesis de grado, libros de geología y bases de datos en general, a la hora de realizar los ensayos de laboratorio se hizo una inspección a las normas de ensayo para materiales de carreteras del año 2013 (INVIAS) tomando esta norma como la más importante guía a la hora de hacer las pruebas.

7.2 RECOLECCION Y ALMACENAMIENTO DEL SUELO

Una vez definido el tipo de suelo a emplear se procede a la recolección de este, el cual tiene como procedencia la ladrillera Santander, justo después de ser recolectado se transportó a la universidad teniendo como lugar de almacenamiento la bodega del laboratorio de materiales de construcción de la UPB.

7.3 DETERMINACIÓN DE LA CLASIFICACION Y PROPIEDADES INDICE DEL SUELO

7.3.1 Ensayo de Granulometría por Tamizado con lavado por el tamiz 200 (INVE – 123 – 13)

El objetivo de este ensayo es determinar el tamaño de las partículas de una muestra de suelo, para esto se empleará una serie de tamices ordenados por la magnitud de su abertura; a continuación, se mostrará el paso a paso para realizar el ensayo de granulometría.

Figura 6. Granulometría, tamices, balanza, recipientes.



Fuente: Autores.

- I. Para empezar el ensayo se debe poner a secar durante 24h una muestra representativa del suelo.
- II. Después de el secado las muestras serán depositadas en platonos cubiertos con agua como el anterior paso durante 24h.
- III. Luego del anterior paso, se procede a limpiar el suelo empleando un lavado con agua, con este paso se busca desechar las partículas que pasen por el tamiz No 200.
- IV. Luego del lavado se pondrán nuevamente las muestras en el horno.

- V. Una vez secado el suelo se podrá realizar el ensayo, para esto se dispondrán de tamices previamente acomodados conforme lo dicta la norma.
- VI. Para este caso se colocaron en el siguiente orden: 1/2", 3/8", No 4, No 10, No 20, No 40, No 60, No 100 y No 200.
- VII. Luego de ordenar los tamices se procede a verter la muestra y realizar un vibrado en todas las direcciones con el fin de que no se retenga el suelo en un solo tamiz.
- VIII. Una vez realizado el vibrado se procede a pesar el material retenido en cada tamiz.
- IX. Luego de pesar el suelo retenido, se verifico la cantidad que ingreso inicialmente, comparada con la cantidad que se retuvo en todos los tamices.

7.3.2 Ensayo de Limite Liquido (INV E – 125 – 13)

A través de este ensayo fue posible determinar una propiedad índice del suelo, la cual se expresa en porcentaje de la cantidad de humedad del suelo en el límite entre el estado plástico y líquido. Se preparo la muestra por vía húmeda con una cantidad aproximada de 150g de material pasado por el tamiz No.40 y se aplicó el método B, multipunto. El proceso que se llevó acabo fue el siguiente:

- I. Se mezcló en la capsula de evaporación una muestra de aproximadamente 150g de suelo con un poco de agua, buscando lograr una buena consistencia, luego de mezclar el suelo se deberá procurar que toda la muestra tenga la misma cantidad de humedad.

Figura 7. Limite líquido, material, recipiente



Fuente: Autores.

- II. Una vez mezclada la muestra se procede a colocar el suelo como se muestra en la Figura 9, teniendo siempre en toda la cazuela la misma cantidad de suelo, en seguida de haber colocado la muestra se emplea el ranurador metálico para hacer una abertura, inmediatamente después se inicia la realización de los golpes , con la humedad inicial se buscaba el rango de 25-35 golpes en la cazuela, si el número de golpes sobrepasa este rango significa que se necesita aumentar la humedad.

Figura 8. Limite líquido, cazuela de Casagrande.



Fuente: Autores.

- III. Luego de haber realizado el primer rango, se tendrá que tomar una muestra de suelo de la cazuela para determinar en qué humedad se encontraba cuando estaba en ese rango, luego de esto el material restante se pondrá en la vasija a la cual se le adicionara un poco más de agua buscando un mayor estado de fluidez cercano a los 20-30 golpes necesarios para cerrar la ranura

formada por el suelo, de la cual también se extrae una muestra para encontrar su humedad, se repite el procedimiento con un aumento de agua para el rango de los 15-25 golpes.

- IV. Se registro los valores de peso de la capsula y peso de la capsula más el suelo húmedo buscando encontrar sus respectivas humedades, se dejaron dichas capsulas durante 24h a una temperatura aproximada de 110.
- V. Luego de haber ejecutado el ensayo se busca realizar una grafica de contenido de humedad vs numero de golpes ,el valor de el limite liquido sera el correspondiente ala humedad a los 25 golpes.

7.3.3 Ensayo de Limite Plástico (INV E – 126 – 13)

El objetivo de este ensayo es encontrar el límite plástico y el índice de plasticidad de un suelo, se aconseja que esta prueba se realice con el mismo material con el que fue determinado el límite líquido, la porción de suelo ensayar será la correspondiente a la del tamiz no 40.

- I. Para iniciar el ensayo se debe tomar una porción de aproximadamente 20 g de suelo preparado con la muestra usada para el límite líquido ya sea la fracción correspondiente al iniciar la prueba o una vez finalizada.
- II. Una vez tengamos el material a ensayar se prosigue a reducir el contenido de agua usando material seco que pase por el tamiz no 40, se disminuye la humedad hasta que alcance una consistencia que permita enrollarlo sin que se pegue a las manos.
- III. Luego se formarán rollos con la muestra haciéndola rodar entre una superficie de vidrio y los dedos, se busca siempre que la presión sea uniforme para así formar un rollo con un diámetro uniforme de más o menos 3.2mm.

- IV. Al momento que el diámetro del rollo sea igual a 3.2 mm se debe dividir en varias partes, juntando uniformemente las partículas y siguiendo el paso anterior hasta que el suelo se desborone, se debe procurar usar siempre la misma presión en las manos.
- V. Inmediatamente después los rollos de suelo desboronado se depositan en una capsula con una masa conocida, el peso de los rollos desboronados siempre deberá ser mayores o iguales a 6g.
- VI. Una vez depositados en las capsulas se prosigue a colocar en el horno a una temperatura promedio de 110° para encontrar así la humedad con la que se presenta el límite plástico.

7.3.4 Ensayo de Limite de Contracción (INV E – 127 – 13)

La realización del ensayo de limite contracción tiene como fin calcular algunas de las constantes del suelo tales como límite de contracción, relación de contracción, cambio volumétrico y contracción lineal, para este laboratorio se hizo uso de mercurio por ello se deberán tomar las medidas de seguridad necesarias para evitar prejuicios en la salud.

- I. Para empezar el ensayo se tamizo el material por el tamiz No 40, luego de esto se tomó aproximadamente 30 g de suelo.
- II. Los 30 g de muestra previamente pesados se colocaron en la vasija de evaporación, una vez allí se mezcló con agua buscando llegar a una consistencia cercana o por encima al límite líquido.
- III. Una vez preparada la mezcla se procede a llenar las capsulas de contracción con vaselina o similar para evitar la adherencia del suelo con estas, luego de haberlas llenado con vaselina se deben pesar y anotar su peso.

- IV. Con el fin de evitar derrames de mercurio, se procede a colocar el recipiente de contracción sobre uno de vidrio, con este paso buscamos encontrar el volumen de la capsula de contracción, para esto se debe llenar el recipiente hasta rebosar con mercurio eliminando el exceso usando la placa de vidrio en la parte superior, además se busca constatar que no queden burbujas de aire entre la placa y el mercurio, en caso tal, se tendrá que repetir este procedimiento.
- V. Seguidamente se determinará el volumen de mercurio depositado en la capsula de contracción, para ello se podrán usar dos métodos el primero será mediante el uso de una probeta en la cual se medirá el mercurio retenido en la capsula de contracción, para el segundo método se dispondrá a determinar la masa del mercurio por medio de la balanza digital, finalmente con este paso se podrá encontrar el volumen de la masa del suelo húmedo (V) dividiendo la masa del mercurio con la densidad (13,55 g/cm³).

Figura 9. Límite de contracción, muestras, capsulas.



Fuente: Autores.

- VI. Una vez hallado el volumen del recipiente de contracción se procede a depositar una cantidad de suelo aproximada a la tercera parte del volumen del recipiente. Una vez adentro se golpea suavemente la capsula buscando que el suelo quede uniforme y que las partículas de aire salgan, se repetirá

el proceso hasta tener 3 capas, una vez terminadas las 3 capas se limpia y se retira el material que quedo adherido alrededor de la capsula, una vez finalizado se pesó el recipiente con las 3 capas de suelo (M_w).

- VII. Luego de haber realizado el anterior paso se secó la muestra al aire libre buscando que su color cambie, esto con el fin de que no se agriete durante el secado, una vez seco se depositó en el horno a una temperatura de 110° si la muestra no sufrió alteración se anota la masa de este (M_d).

Figura 10. Límite de contracción, muestras secas



Fuente: Autores.

- VIII. Para determinar la masa del suelo seco de la muestra se coloca la taza de vidrio dentro del recipiente pando esto con el fin de llenarla hasta rebosar de mercurio, una vez llena se quita el exceso de mercurio usando firmemente la placa de vidrio, se debe procurar que entre la placa y el mercurio no existan burbujas de aire.

Figura 11. Límite de contracción, desplazamiento mercurio.



Fuente: Autores.

- IX. Una vez realizado el anterior paso se pondrá la pastilla de suelo seco sobre el recipiente de vidrio, una vez allí se sumergirá la pastilla con la placa de vidrio procurando como los anteriores pasos que no existan vacíos entre la placa y la capsula, luego de este paso se pesa el mercurio que termino rebosándose, es decir el desplazado con esto se busca encontrar el volumen del suelo seco , teniendo la masa del mercurio desplazada y dividirla por su densidad que es (13,55) g/cm³.

7.3.5 Ensayo de Compactación Proctor Modificado (INV E – 142 – 13)

El objetivo principal de esta prueba es determinar una relación entre la humedad y el peso unitario seco (curva de compactación) para este ensayo existen dos pruebas la de Proctor modificado y la de Proctor estándar, la diferencia entre estos dos ensayos está en el martillo que se usa para compactar el suelo, se sugiere que la prueba se realice a suelos que no hayan sido compactados previamente.

- I. Para iniciar la prueba se dispondrá de 3 métodos diferentes, la diferencia entre estos métodos varía desde el diámetro del molde, el material, el número de capas y de golpes; para definir el procedimiento a emplear se debe revisar la tabla 142-1 de la norma INV-E 142.
- II. Una vez definido el procedimiento que se va a llevar a cabo, se tamiza el material por el tamiz que dicta el método, se recomienda que la cantidad de material a ensayar sea de mayor a 3kg, a su vez el material tendrá que estar libre de humedad para esto se sugiere que este secado en el horno previamente.

- III. Luego de obtener la cantidad de material necesaria, se prosigue a esparcir en una bandeja metálica procurando siempre que en ella no exista agua o humedad que pueda cambiar las características del suelo.

Figura 12. Compactación Proctor, material



Fuente: Autores.

- IV. Antes de empezar la prueba se debe tomar el peso del molde sin el collarín, así como también su diámetro y su altura; cuando se va a tomar su diámetro siempre se toma en la parte interior del molde.
- V. Siguiendo con el ensayo se procede a verter en el suelo un porcentaje de agua del 5%, una vez colocado esta cantidad de agua se emplea un amasado con el fin de que el agua este bien distribuida por toda la muestra.
- VI. Cuando el suelo ya esté completamente uniforme se vierte en el molde, sin importar el método la cantidad de capas será de 5, se procura siempre que la cantidad de suelo que se coloca en cada capa sea la misma; para el numero de golpes varía dependiendo del diámetro del molde, para el molde pequeño serán 25 golpes y para el molde grande 56 golpes.

Figura 13. Compactación, mezcla, humedad.



Fuente: Autores.

- VII. Para realizar los golpes con el martillo se aconseja que se coloque de forma vertical, que sea uniforme y que abarque toda la superficie del molde, para así evitar que el suelo quede disperejamente compactado.
- VIII. Luego de realizar las 5 capas se procede a desprender el collarín de la parte de arriba del molde, si el suelo compactado no supera la parte superior del molde se procede a colocar suelo compactándolo, empleando la regla metálica y el mazo de caucho, si por el contrario la muestra supera la parte de arriba del molde se enraza con la regla metálica buscando siempre que la regla toque los bordes del molde.
- IX. Seguidamente del enraizado se debe pesar el molde más el suelo compactado, se debe revisar muy bien el molde en general debido a que en él pueden existir resto de material adheridos que pueden variar un poco el peso de este.

Figura 14. Proctor, muestra compactada.



Fuente: Autores.

- X. Después de realizar el anterior paso se deberá tomar las muestras del suelo para determinar su humedad, este ítem es uno de los más importantes debido a que el contenido de humedad será necesario para realizar la gráfica de compactación.

Figura 15. Ensayo de compactación, muestras de humedad.



Fuente: Autores.

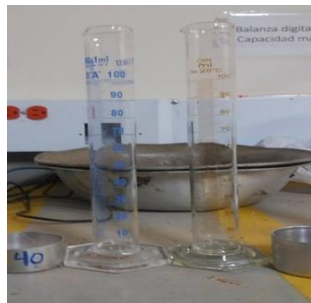
- XI. Siguiendo con el ensayo se debe realizar el procedimiento mostrado en el inciso 6 en adelante hasta que el peso del molde más el suelo compactado disminuya, por lo general se deberá repetir el método unas 3-4 veces variando el porcentaje de humedad en un 2%-3%.
- XII. Una vez hecha la prueba se realiza una gráfica de peso unitario seco vs porcentaje de humedad, definiendo la humedad óptima como el punto máximo de la gráfica.

7.3.6 Ensayo de Expansión Libre (INV E – 132-13)

El objetivo principal de esta prueba es encontrar el índice de expansión libre de un suelo en específico, este índice es el cambio de volumen que presenta el suelo sin cargas cuando es sumergido en agua, la realización de este ensayo es muy sencilla debido a que solo será necesario de kerosene, agua, suelo y probetas.

- I. Para iniciar con la prueba se debe secar y tamizar el suelo por el tamiz No 40, para este ensayo será necesario separar dos muestras de 10g cada una.
- II. Una vez obtenidas las muestras, será necesario tener kerosene, agua y probetas graduadas de 100ml.

Figura 16. Expansión Libre, probetas de 100ml.



Fuente: Autores.

- III. Luego de tener los instrumentos necesarios para realizar el ensayo se continúa colocando en las dos probetas los 10g de material.
- IV. Después de haber introducido el suelo en las probetas se continúa llenando dichas probetas con kerosene y agua destilada hasta llegar a la marca de los 100ml, el kerosene es un líquido no polar por lo tanto no habrá cambios en la expansión del suelo.

- V. Empleando una varilla de vidrio se agita buscando remover el aire de la muestra.
- VI. Una vez realizado los anteriores pasos se deja en reposo por 24 horas buscando encontrar el equilibrio volumétrico.
- VII. Pasadas las 24 horas se escribe el volumen alcanzado por el suelo en cada probeta.

7.3.7 Ensayo de Presión de Expansión (INV E – 120 – 13)

El objeto de este ensayo tiene como fin reconocer si un suelo puede llegar a presentar cambios en su volumen debido a una variación en su humedad, este cambio se llamará (CVP) cambio volumétrico potencial y será dividido como crítico, marginal, crítico y muy crítico.

Figura 17. Aparate de Lambe



Fuente: Autores.

- I. Para empezar el ensayo se debe procurar que la muestra de suelo se encuentre seca al aire o mediante un horno siempre y cuando este tenga una temperatura menor a 60°.
- II. Luego de tener la muestra seca, se cuartea para así encontrar dos porciones de más o menos 1 kg, después del anterior paso proseguimos a tamizar 1 kg de muestra por el tamiz No 10, una vez tengamos la muestra tamizada se

dispondrá a prepararla con uno de los siguientes contenidos de humedad, 1) limite plástico, 2) muestra expuesta 48 horas a una humedad relativa de 100% (estado húmedo), 3) muestra expuesta 48 horas a una humedad relativa del 50%.

- III. Una vez definida la humedad se obtiene la probeta a ensayar mediante un ensayo de compactación para esto se debe mirar la tabla 120-1 de la norma, debido a que el número de capas, golpes y preparación de la muestra a ensayar depende de la humedad escogida anteriormente.
- IV. Después de finalizada la compactación se soltaron los elementos de fijación; luego de esto se espera sacar la muestra usando el anillo porta probeta y el mazo de caucho una vez realizado este proceso se enrasa usando la regla metálica hasta que el anillo porta probeta quede totalmente enrasado.
- V. Para llevar a cabo el montaje en el aparato de lambe se colocó la placa porosa inferior en la base del equipo y encima de ella el anillo porta-probeta siempre asegurándose que exista un buen contacto entre estos dos elementos, luego de lo anterior se procede a fijar la muestra con tornillos teniendo 2 placas porosas una arriba y la otra abajo, a su vez también se pondrán encima el pistón de carga.

Figura 18. Montaje de muestra en aparato de Lambe.



Fuente: Autores.

- VI. Para la ejecución del ensayo se añade agua hasta que el nivel de esta sobrepase la parte de encima del anillo guía, inmediatamente se contabilizaran 2 horas, una vez pasado este tiempo se tomara la lectura para encontrar el valor de la fuerza en Newton.

Figura 19. Lectura final del ensayo de presión de expansión.



Fuente: Autores.

7.3.8 Ensayo de Corte Directo (INV E – 154 – 13)

El objeto de la presente norma es identificar la resistencia al corte de una muestra consolidada y drenada a través del método de corte directo. Para ello se realizó una deformación a una velocidad controlada, lenta y que asegure una condición de drenaje igual a una presión intersticial nula, cerca de un plano de corte establecido bajo la configuración del aparato del ensayo. El procedimiento para la aplicación de la norma fue el siguiente:

Figura 20. Máquina de corte directo



Fuente: Autores.

- I. Se realiza el montaje de la caja de corte y la cubeta en el marco de carga, conectando y ajustando la posición del sistema de carga de corte, el instrumento de medición de desplazamiento horizontal, ajustando medidores en 0.
- II. Se monta la placa de transferencia de carga y de interrupción del momento sobre la piedra porosa ubicada en la parte superior de la muestra, así como el marco de carga de fuerza normal, con su barra de carga alineada.
- III. Se le aplica una pequeña carga normal de ajuste a la muestra para corroborar la alineación del equipo de tal manera que no se restrinja el movimiento de la placa de transferencia de carga en la caja de corte. No se debe permitir que la muestra sufra una consolidación significativa.
- IV. La aplicación de carga normal para consolidación se hace en varios incrementos progresivos de carga controlados para prevenir la extrusión del material registrando la fuerza normal requerida para alcanzar el esfuerzo normal intermedio, su progreso desde la carga de ajuste hasta el esfuerzo de consolidación final.
- V. Se aplica el primer incremento de carga, con la cubeta llena de agua, se anota la deformación normal al final de cada incremento, así como el lapso para alcanzarla y las lecturas de las deformaciones normales en relación con el tiempo transcurrido.
- VI. Una vez se presentada la consolidación primaria se registra el desplazamiento normal de precorte.

Figura 21. Corte directo en muestra de suelo.



Fuente: Autores.

7.3.9 Ensayo de Consolidación (INV E – 151 – 13)

Este ensayo se realizó con el fin de determinar la capacidad y velocidad de consolidación del suelo en cuestión, esto mediante el drenaje axial de la muestra de suelo mientras es sometida a un incremento previsto y controlado de carga. El procedimiento para la aplicación de la norma fue el siguiente:

- I. Se inicio preparando la muestra para lo que es necesario realizar el ensayo de Proctor modificado con la humedad optima, muestra de la cual se extraen las pequeñas muestras con los anillos de consolidación.

Figura 22. Proctor modificado con humedad optima



Fuente: Autores.

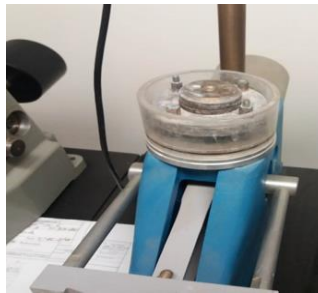
Figura 23. Muestra para ensayo de consolidación



Fuente: Autores.

- II. Una vez obtenida la muestra se armó la cámara de consolidación disponiendo en el fondo de una piedra porosa, seguida de la muestra y otra piedra porosa para así ajustar la cámara y finalmente poner una tapa de bronce superior.

Figura 24. Cámara de consolidación armada.



Fuente: Autores.

- III. Se lleno la cámara de agua y se dejó 24 horas en reposo, asumiendo que la muestra se satura en dicho tiempo y verificando que el deformímetro no esté tomando lectura.
- IV. Al cabo de este tiempo se inicia el software PS – 300D, y se le suministra los datos que requiere para así seleccionar “Técnico Pinzuar” para salir y así dar inicio al ensayo con la primera carga de 1 kg que dura 24h al igual que las siguientes cargas de 2, 4 y 8 kg, al final de cada lectura por carga se selecciona “detener” y para iniciar con la otra carga se da clic en “cargar

datos” actualizando el valor de la nueva carga y presionar salir nuevamente, se repite el procedimiento hasta alcanzar los datos deseados.

- V. Una vez culminada la fase de carga se procede a realizar la descarga disminuyendo de manera secuencial a la carga, iniciando de 8 a 4kg y dando clic en “descarga” para actualizar el dato de la carga soportada y seguido dando clic en “salir” de manera similar y cíclica a la fase de carga.
- VI. Finalmente se procede a guardar los datos obtenidos por el software en una memoria USB.

7.3.10 Ensayo de Compresión Inconfinada (INV E – 152 – 13)

Este ensayo tiene como objetivo encontrar la resistencia a la compresión no confinada en suelos cohesivos, es decir este laboratorio solo se podrá realizar a suelos como arcillas, limos y materiales que no sufran una expulsión de agua durante la colocación de la carga axial.

- I. Para la realización de este ensayo será necesario que la muestra tenga un diámetro mínimo de 30mm, se podrá realizar en muestras inalteradas, remoldeadas y compactadas, para el espécimen compactado se realiza con un contenido de humedad estipulada anteriormente, se recomienda que durante la compactación el grado de saturación no sea mayor a 90%.

Figura 25. Extracción de muestras de compresión simple.



Fuente: Autores.

- II. Una vez tengamos el cilindro que vamos a fallar se deberá pesar y medir la altura y el diámetro, después de haberlo pesado y medido se dispondrá a colocar en el aparato de compresión de tal forma que quede totalmente centrado en la parte inferior, continuando se pondrá el instrumento de carga cuidadosamente procurando siempre que la platina superior quede haciendo contacto con la muestra. Luego se coloca el indicador de deformación en cero.

Figura 26. Muestra compresión simple



Fuente: Autores.

- III. Siguiendo con el ensayo se le aplicara la carga buscando siempre registrar los valores de carga y deformación, se espera que para definir la curva de esfuerzo-deformación se encuentre cerca de 10-15 puntos se debe procurar que la velocidad a la que se va a deformar el espécimen no sea mayor a 15 minutos.

Figura 27. Compresión simple, muestra sometida a carga.



Fuente: Autores.

- IV. Una vez terminado el ensayo se debe encontrar el contenido de humedad ala que estaba expuesto el espécimen cuando fue fallado.

Figura 28. Muestra de suelo, determinación de humedad.



Fuente: Autores.

- V. Se deberá tomar una foto de la muestra mostrando el ángulo de inclinación de la rotura.

Figura 29. Angulo de inclinación de rotura



Fuente: Autores.

8 DATOS OBTENIDOS

A continuación, se muestran los resultados encontrados durante la realización de los ensayos, la elaboración y pasos a seguir de dichas pruebas se encuentran explicadas anteriormente en la metodología, los siguientes datos no serán decisivos debido a que serán dependientes del análisis estadístico que se lleve a cabo en el análisis de resultados; como se muestra antes la norma que empleamos para desarrollar la caracterización fue la de INVIAS del año 2013, para este proyecto la cantidad de ensayos a realizar fue de 5 para cada prueba. [16]

8.1 ENSAYOS DE CLASIFICACION

Para empezar con la caracterización del suelo en estudio, se empezará con los ensayos de granulometría y límites de Atterberg esto con el fin de definir qué tipo de suelo es, así como sus características.

8.1.1 Ensayo de Granulometría

El ensayo de granulometría fue realizado en base a la norma INVIAS 123-13, dicha prueba tiene como fin separar y definir por tamaños las partículas de suelo.

8.1.1.1 Ensayo # 1

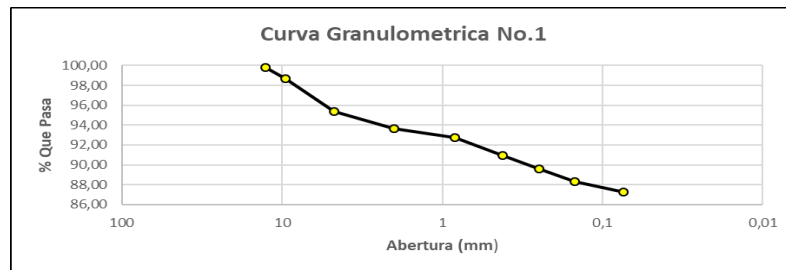
Tabla 4. Resultado No.1 de Granulometría.

% Gravas	4,61
% Arenas	8,11
% Finos	87,28

Fuente: Autores.

Con un resultado obtenido de 87,28% se deduce que en el suelo predominan partículas finas, a continuación, se observa la curva granulométrica encontrada para el primer ensayo.

Gráfica 3. Curva Granulométrica No.1



Fuente: Autores.

8.1.1.2 Ensayo # 2

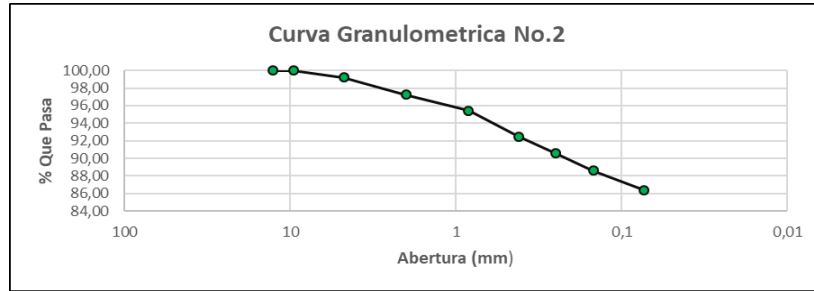
Tabla 5. Resultado No.2 de Granulometría.

% Gravas	0,78
% Arenas	12,82
% Finos	86,40

Fuente: Autores.

Con este ensayo se puede deducir que a pesar de tener 12,82% de partículas consideradas como arena sigue predominando con un porcentaje bastante alto las partículas finas, seguidamente se muestra la curva granulométrica hallada para el segundo ensayo.

Gráfica 4. Curva Granulométrica No.2



Fuente: Autores.

8.1.1.3 Ensayo # 3

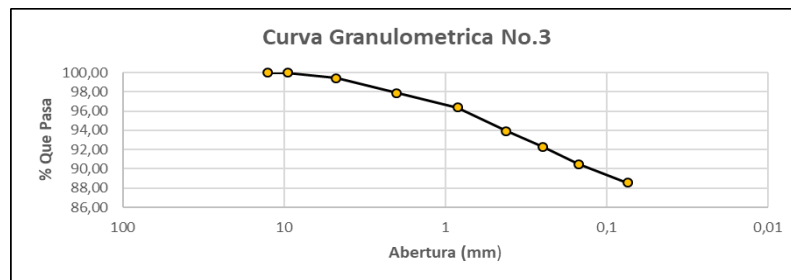
Tabla 6. Resultado No.3 de Granulometría.

% Gravas	0,59
% Arenas	10,85
%Finos	88,57

Fuente: Autores.

Como el anterior ensayo se presenta un % de partículas de arena mayores al 10% esto nos dicta que a pesar de tener un porcentaje un poco elevado sigue predominando el porcentaje de finos, a continuación, se muestra la curva granulométrica No.3.

Gráfica 5. Curva Granulométrica No.3



Fuente: Autores.

8.1.1.4 Ensayo # 4

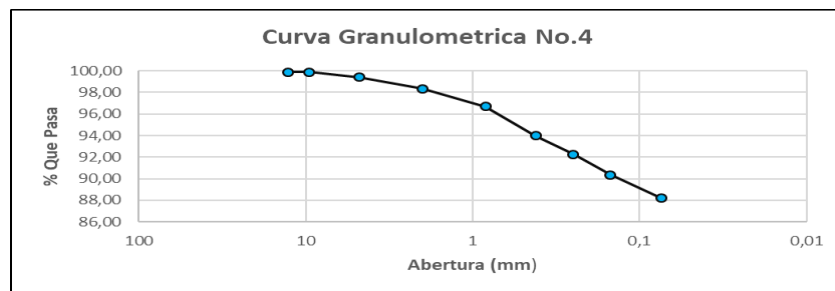
Tabla 7. Resultado No.4 de Granulometría.

% Gravas	0,61
% Arenas	9,04
%Finos	90,35

Fuente: Autores.

Este ensayo al igual que el primero presenta un % de partículas de arena menor al 10%, esto nos muestra que efectivamente el porcentaje de partículas finas sigue siendo mayor que el de % de arenas. seguidamente se observa la curva granulométrica correspondiente a este ensayo.

Gráfica 6. Curva Granulométrica No.4



Fuente: Autores.

8.1.1.5 Ensayo # 5

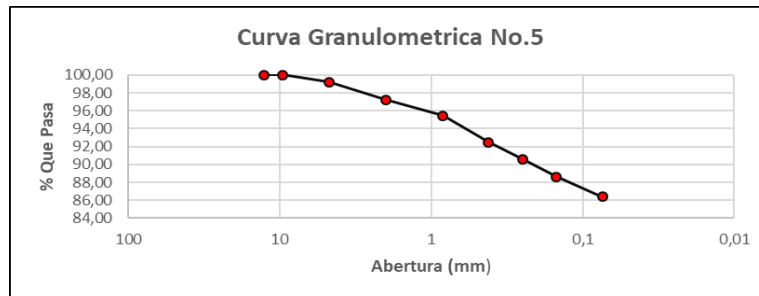
Tabla 8. Resultado No.5 de Granulometría.

% Gravas	2,92
% Arenas	9,83
%Finos	87,25

Fuente: Autores.

El anterior ensayo al igual que la pruebas #1 y #4 presenta un % de partículas de arena un poco menor al 10% con esto se encontró que el suelo es un suelo donde predominan las partículas de grano fino, posteriormente se muestra la curva granulométrica encontrada para este ensayo.

Gráfica 7. Curva Granulométrica No.5



Fuente: Autores.

8.1.2 Ensayo de Limite Líquido

El ensayo de limite liquido fue realizado tomando como guía la norma 125-13 INVIAS, tiene como fin determinar el contenido de humedad con el cual la muestra pasa de una apariencia liquida a una plástica, el límite liquido es encontrado cuando el número de golpes es igual a 25, el método empleado para esta prueba fue el de determinación con varios puntos.

8.1.2.1 Ensayo # 1

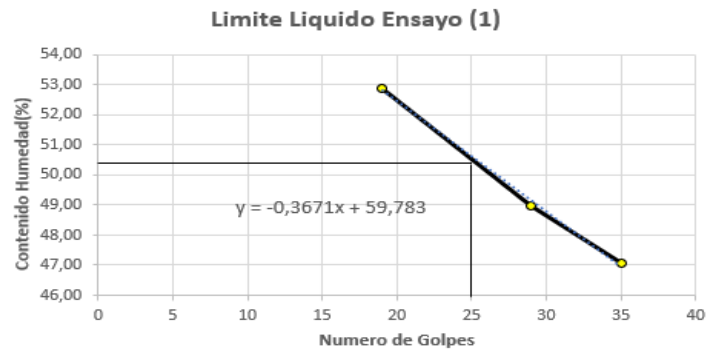
Tabla 9. Resultado No.1 de Limite Líquido.

Limite Liquido	50,61%
-----------------------	---------------

Fuente: Autores.

Para esta prueba se encontró un límite líquido de 50,61% esto demuestra que es un suelo con una plasticidad alta, posteriormente se muestra la gráfica usada para determinar el límite.

Gráfica 8. Límite líquido No. 1



Fuente: Autores.

8.1.2.2 Ensayo # 2

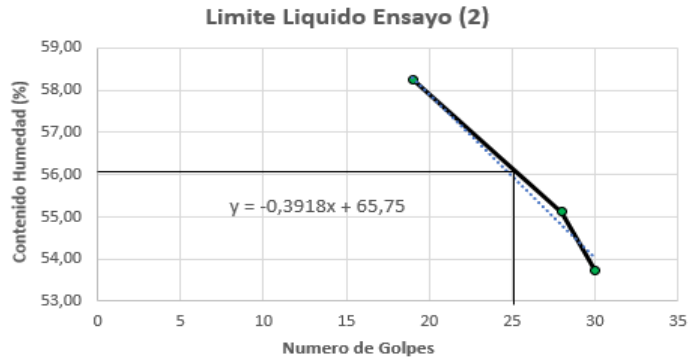
Tabla 10. Resultado No.2 de Límite líquido.

Límite Líquido	55,96%
-----------------------	---------------

Fuente: Autores.

Para este ensayo se halló un límite líquido superior al anterior se encuentra que el suelo en estudio efectivamente presenta una alta plasticidad, a continuación, se muestra la gráfica empleada para encontrar el límite líquido.

Gráfica 9. Limite líquido No. 2



Fuente: Autores.

8.1.2.3 Ensayo # 3

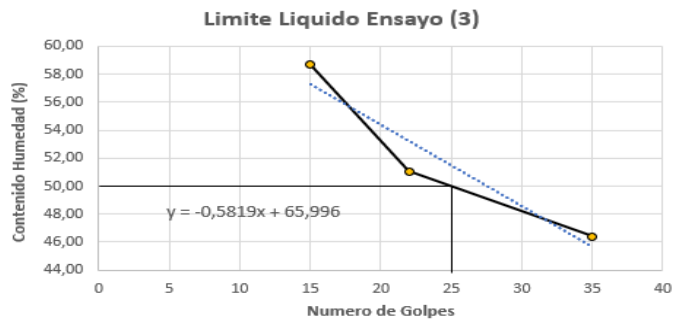
Tabla 11. Resultado No.3 de Limite líquido.

Limite Liquido	51,45%
-----------------------	---------------

Fuente: Autores.

Al igual que los dos anteriores ensayos se muestra que el límite encontrado es mayor a 50% lo que nos indica que es un material altamente plástico, posteriormente se muestra la gráfica con la que fue encontrado el límite.

Gráfica 10. Limite líquido No. 3



Fuente: Autores.

8.1.2.4 Ensayo # 4

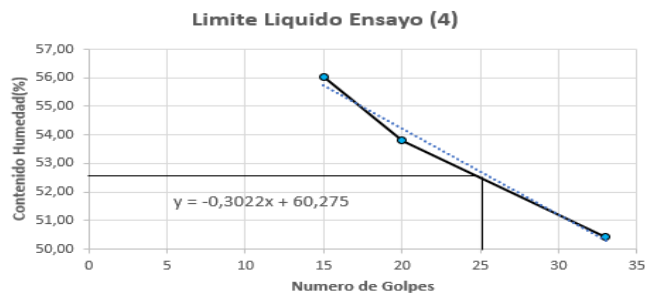
Tabla 12. Resultado No.4 de Limite líquido.

Limite Liquido	52,72%
-----------------------	---------------

Fuente: Autores.

Con esta prueba se encontró un límite líquido de 52,72% como en las anteriores pruebas nos da un valor mayor a 50%, seguidamente se observa la gráfica con la que fue encontrado el límite líquido.

Gráfica 11. Limite líquido No. 4



Fuente: Autores.

8.1.2.5 Ensayo #5

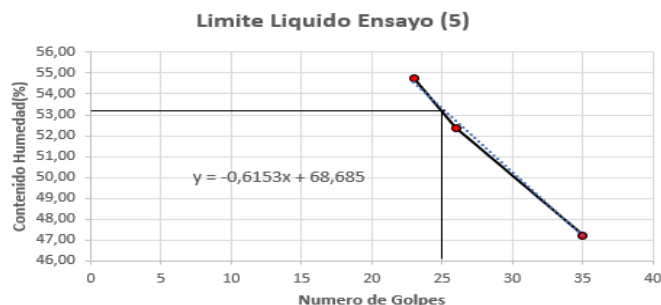
Tabla 13. Resultado No.5 de Limite líquido.

Limite Liquido	53,30%
-----------------------	---------------

Fuente: Autores.

Al igual que los anteriores ensayos el suelo presenta un límite líquido mayor a 50% a raíz de esto se concluye que es un suelo fino y altamente plástico, a continuación, se muestra la gráfica necesaria para encontrar el límite líquido.

Gráfica 12. Limite líquido No.5



Fuente: Autores.

8.1.3 Ensayo Limite Plástico

La elaboración de esta prueba se encuentra regida por la norma 126-13 INVIAS, se recomienda que el material a emplear para realizar el ensayo sea el mismo usado para determinar el límite líquido, la finalidad de este ensayo es encontrar la humedad con la que pequeños rollos de 3.2mm se agrieten, el límite plástico es el contenido de humedad más bajo con el que se puedan formar dichos rollos sin que en ellos se produzcan desmoronamiento.

8.1.3.1 Ensayo # 1

Tabla 14. Resultado No.1 de Limite plástico.

Limite Plástico	21,09
------------------------	--------------

Fuente: Autores.

Durante la realización del ensayo se encontró un límite plástico de 21,09 gracias a él limite líquido y limite plástico será posible encontrar el índice de plasticidad del suelo y con esto la clasificación del suelo mediante la gráfica de plasticidad USCS.

8.1.3.2 Ensayo # 2

Tabla 15. Resultado No.2 de Limite plástico.

Limite Plástico	21,49
-----------------	-------

Fuente: Autores.

Para este ensayo se encontró un límite plástico muy parecido al anterior debido a los valores encontrados, se deduce que el suelo es un suelo fino y altamente plástico.

8.1.3.3 Ensayo # 3

Tabla 16. Resultado No.3 de Limite plástico.

Limite Plástico	21,26
-----------------	-------

Fuente: Autores.

Al igual que las dos pruebas anteriores se encontró un límite plástico de 21 una vez encontrado este valor se concluye que los resultados obtenidos se asemejan mucho los unos a los otros.

8.1.3.4 Ensayo #4

Tabla 17. Resultado No.4 de Limite plástico.

Limite Plástico	21,35
-----------------	-------

Fuente: Autores.

Con esta prueba se halló un límite plástico de 21,35 con esto se puede inferir que los ensayos fueron realizados de manera correcta, debido a que fueron encontrado valores muy cercanos entre sí.

8.1.3.5 Ensayo #5

Tabla 18. Resultado No.5 de Limite plástico.

Limite Plástico	21,70
-----------------	-------

Fuente: Autores.

A través de este ensayo se encontró un límite plástico de 21,70, este límite es un poco mayor a los encontrados anteriormente.

8.1.4 Ensayo de Limite de Contracción

Este ensayo se encuentra estipulado en la norma 127-13 INVIAS, la elaboración de esta prueba tiene como objetivo principal encontrar parámetros que dicten si existe la probabilidad de que un suelo cohesivo sufra cambios en su estructura.

8.1.4.1 Ensayo #1

Tabla 19. Resultado No.1 de Límite de contracción.

Límite de Contracción (LC)	11,26%	11,87%
Relación de Contracción (R)	1,87	2,15
Cambio Volumétrico (CV)	72,63	81,95
Contracción Lineal (CL)	16,64	18,09

Fuente: Autores.

Para la anterior prueba se encontró un límite de contracción de 11,26% y 11,87%, gracias esto se puede predecir que el suelo puede llegar a presentar un grado de expansividad alto.

8.1.4.2 Ensayo #2

Tabla 20. Resultado No.2 de Límite de contracción

Límite de Contracción (LC)	11,17%	11,66%
Relación de Contracción (R)	1,81	1,98
Cambio Volumétrico (CV)	70,32	75,93
Contracción Lineal (CL)	16,26	17,16

Fuente: Autores.

Al igual que el ensayo #1 se encontraron valores cercanos a 12%, debido a este resultado se espera que el suelo se comporte con una expansividad alta.

8.1.4.3 Ensayo #3

Tabla 21. Resultado No.3 de Límite de contracción

Límite de Contracción (LC)	11,82%	11,14%
Relación de Contracción (R)	1,95	1,98
Cambio Volumétrico (CV)	74,60	76,76
Contracción Lineal (CL)	16,95	17,29

Fuente: Autores.

Con esta prueba se encontraron valores de límite de contracción de 11,82 y 11,14 estos datos se encuentran dentro del rango de los dos anteriores ensayos lo que nos indica que los datos obtenidos son confiables.

8.1.4.4 Ensayo #4

Tabla 22. Resultado No.4 de Límite de contracción

Límite de Contracción (LC)	11,33%	11,41%
Relación de Contracción (R)	1,93	2,19
Cambio Volumétrico (CV)	74,80	84,59
Contracción Lineal (CL)	16,99	18,48

Fuente: Autores.

Los datos arrojados con este ensayo y los anteriores nos muestran que el suelo en estudio es un suelo fino con bastante plasticidad, su comportamiento es el de un material que puede llegar a sufrir alteraciones con la presencia de agentes externos como el agua.

8.1.4.5 Ensayo #5

Tabla 23. Resultado No.5 de Límite de contracción

Límite de Contracción (LC)	11,87%	11,44%
Relación de Contracción (R)	1,92	2,18
Cambio Volumétrico (CV)	73,29	83,94
Contracción Lineal (CL)	16,76	18,38

Fuente: Autores.

Debido a que el anterior ensayo nos arrojó valores cercanos a 12 es decir valores muy parecidos a los datos encontrados anteriormente se concluye que la prueba fue realizada de manera satisfactoria.

8.1.5 Ensayo de Humedad Natural

La realización de este ensayo se encuentra reglamentada por la norma 135-13 INVIAS, la finalidad de esta prueba es encontrar el contenido de humedad que posee la muestra de suelo inicialmente, seguidamente se muestran los datos encontrados.

8.1.5.1 Datos obtenidos Humedad Natural

Tabla 24. Recopilación resultados Humedad natural

Contenido Humedad (%)	4,84	4,09	4,51	4,48	4,32
------------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Fuente: Autores.

Con los porcentajes de humedad hallados se difiere que el suelo originalmente no se encuentra cercano a el nivel freático, con los resultados encontrados anteriormente se concluye que el ensayo se realizó de manera satisfactoria, ya que los valores encontrados se encuentran en el mismo rango.

8.2 DETERMINACION DE PROPIEDADES MECANICAS

Una vez determinados los aspectos de clasificación del suelo, se continua con la caracterización llevando a cabo ensayos para determinar las propiedades mecánicas del mismo, las pruebas que se llevaron a cabo para encontrar estas propiedades son: Proctor Modificado, Compresión Simple, Presión de Expansión, Expansión Libre, Consolidación y Corte Directo.

8.2.1 Ensayo de Compactación (Proctor Modificado)

La elaboración de esta prueba se encuentra estipulada en la norma 142-13 INVIAS, el método usado para la realización de la prueba es el método A (5 Capas – 25 Golpes), el objetivo principal de este ensayo es determinar la curva de compactación, dicha grafica se obtiene mediante graficando peso unitario seco vs porcentaje de humedad, a través de esta curva se podrá encontrar la humedad optima que es necesaria para que el material alcance un comportamiento adecuado.

8.2.1.1 Ensayo #1

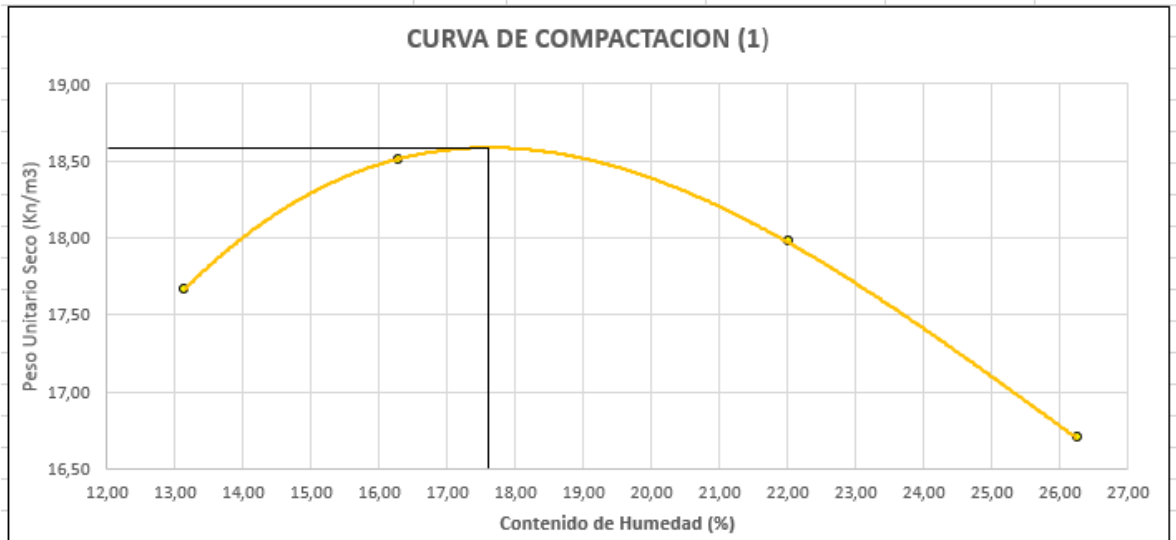
Tabla 25. Resultado No.1 de Proctor modificado.

Humedad Optima	17,80%
Peso Unitario Seco [Kn/m3]	18,60

Fuente: Autores.

Una vez realizado el ensayo se obtuvo una humedad optima de 17,80% y un peso unitario seco máximo de 18,60, seguidamente se muestra la gráfica de compactación empleada para encontrar estos parámetros.

Gráfica 13. Curva de Compactación No. 1



Fuente: Autores.

8.2.1.2 Ensayo #2

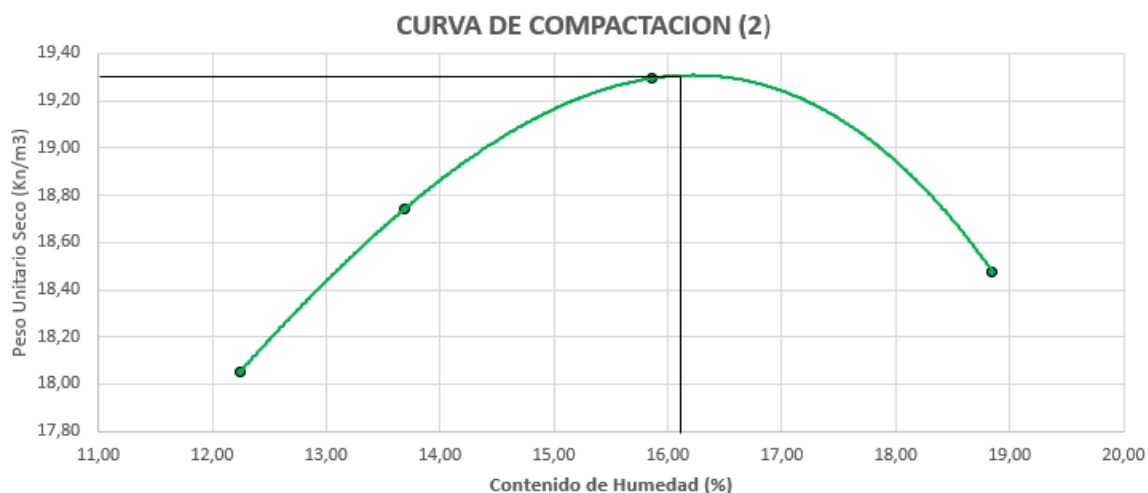
Tabla 26. Resultado No.2 de Proctor modificado.

Humedad Optima	16,10%
Peso Unitario Seco [Kn/m3]	19,32

Fuente: Autores.

Para esta prueba se encontró un porcentaje de humedad óptima menor al anterior, a su vez el peso unitario seco aumentó con respecto al ensayo previo, con esto se puede inferir que los dos valores se encuentran en un rango de humedad óptima entre 16-18 y de densidad seca máxima de 18-19,50; a continuación, se observa la curva de compactación encontrada con los datos obtenidos.

Gráfica 14. Curva de Compactación No.2



Fuente: Autores.

8.2.1.3 Ensayo #3

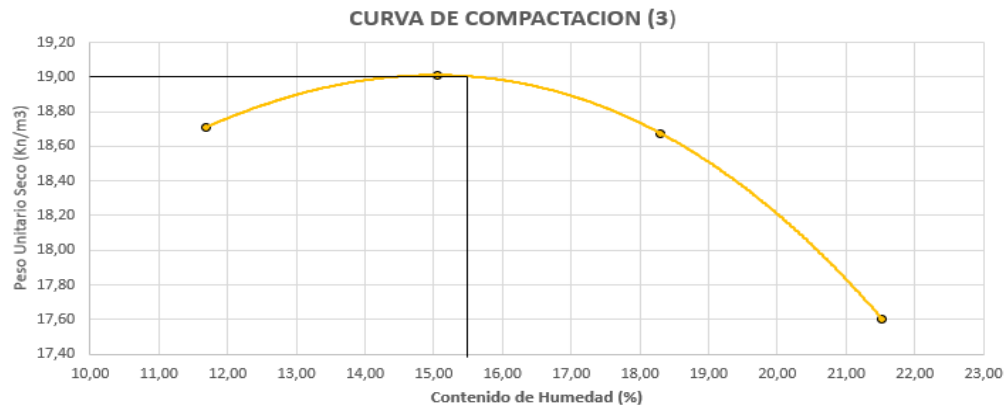
Tabla 27. Resultado No.3 de Proctor modificado.

Humedad optima	15,50%
Peso Unitario Seco [Kn/m3]	19,00

Fuente: Autores.

A través del ensayo #3 se encontró una humedad optima cercana a 16% y un peso unitario seco de 19, con esto se puede diferir inicialmente que el ensayo #2 y #3 no presentan mayor variación en los datos por lo que se puede predecir que la humedad optima y el peso unitario seco pueden oscilar entre estos valores, seguidamente se muestra la gráfica de compactación.

Gráfica 15. Curva de Compactación No.3



Fuente: Autores.

8.2.1.4 Ensayo #4

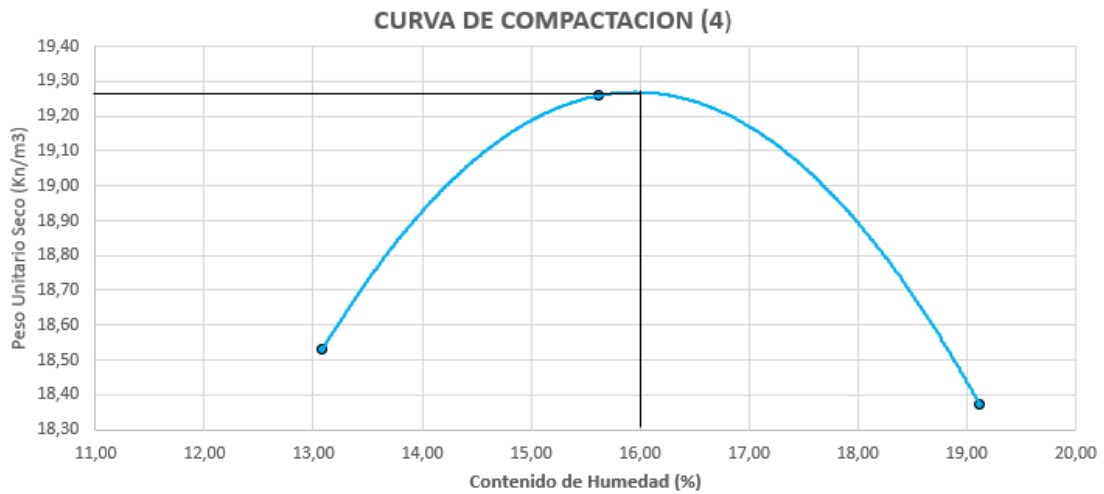
Tabla 28. Resultado No.4 de Proctor modificado.

Humedad Optima	16,00%
Peso Unitario Seco [Kn/m3]	19,28

Fuente: Autores.

Mediante el ensayo #4 se encontró una humedad óptima del 16% y un peso unitario seco máximo de 19,28, con estos valores encontrados se puede afirmar que este ensayo fue el que mejor se llevó a cabo, esto debido a que se encontraron valores con muy poca variación con respecto a las anteriores pruebas, a continuación, se muestra la curva de compactación encontrada.

Gráfica 16. Curva de Compactación No.4



Fuente: Autores.

8.2.1.5 Ensayo #5

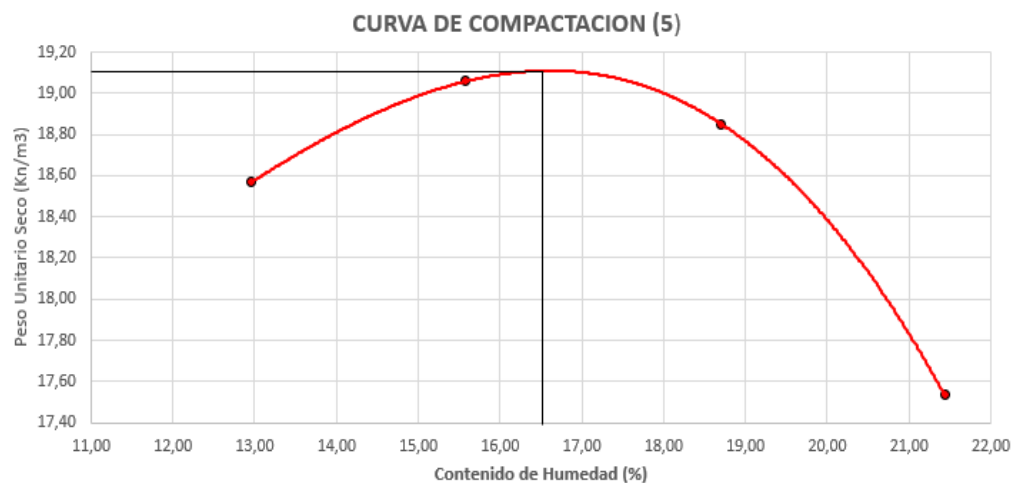
Tabla 29. Resultado No.5 de Proctor modificado.

Humedad optima	16,50%
Peso Unitario Seco [Kn/m3]	19,10

Fuente: Autores.

Al igual que el ensayo #2 y #4 se encontraron valores de humedad optima, peso unitario seco cercanos a 16% y 19 respectivamente, con esto se difiere que los ensayos fueron realizados de manera correcta, es decir con muy poco margen de error entre sí, seguidamente se muestra la gráfica de compactación.

Gráfica 17. Curva de Compactación No.5



Fuente: Autores.

8.2.2 Ensayo de Compresión Simple

La realización de este ensayo se encuentra contemplada en la norma 152-13 INVIAS, la humedad con las que fueron preparadas las muestras fue de 16% esto debido a que fue la humedad optima encontrada anteriormente, la finalidad de esta prueba es encontrar la resistencia a la compresión Inconfinada, se aconseja que este ensayo sea realizado exclusivamente en suelos cohesivos.

8.2.2.1 Ensayo #1

Tabla 30. Resultado No.1 de Compresión simple.

Esfuerzo [Kg/cm2]	0,9397
Resistencia al Corte [Kg/cm2]	0,4699

Fuente: Autores.

En este ensayo de compresión se obtuvo un esfuerzo final de 0,9397 [Kg/cm²], según la norma mediante esta prueba se podrá encontrar la resistencia al corte; está definida como 0,5(Esfuerzo).

8.2.2.2 Ensayo#2

Tabla 31. Resultado No.2 de Compresión simple.

Esfuerzo [Kg/cm²]	0,8860
Resistencia al Corte [Kg/cm²]	0,4430

Fuente: Autores.

Para esta muestra se encontró una resistencia a la compresión menor a la del ensayo anterior, se concluye inicialmente que el esfuerzo que va a soportar el cilindro oscilara entre 0,8 y 1,1 [Kg/cm²].

8.2.2.3 Ensayo #3

Tabla 32. Resultado No.3 de Compresión simple.

Esfuerzo [Kg/cm²]	1,0653
Resistencia al Corte [Kg/cm²]	0,5327

Fuente: Autores.

Para esta prueba el cilindro resistió un esfuerzo total de 1,0653 [Kg/cm²], dicha prueba con respecto a las anteriores es la que ha presentado mayor resistencia, debido a que los resultados obtenidos se encuentran cercanos entre sí, se difiere que fueron realizados de manera correcta.

8.2.2.4 Ensayo #4

Tabla 33. Resultado No.4 de Compresión simple.

Esfuerzo [Kg/cm ²]	0,9033
Resistencia al Corte [Kg/cm ²]	0,4516

Fuente: Autores.

El ensayo de compresión #4 nos arrojó un valor de 0,9033 [Kg/cm²], este dato se encuentra entre el rango encontrado en los anteriores ensayos.

8.2.2.5 Ensayo #5

Tabla 34 .Resultado No.5 de Compresión simple.

Esfuerzo [Kg/cm ²]	0,9194
Resistencia al Corte [Kg/cm ²]	0,4597

Fuente: Autores.

Con la prueba #5 encontramos un valor muy cercano al encontrado en el ensayo inmediatamente anterior, de esto diferimos que a pesar de haber encontrado valores un poco diferentes entre sí la prueba se realizó de manera satisfactoria.

8.2.3 Ensayo de Presión de Expansión

La elaboración de la prueba esta guiada por la norma 120-13 INVIAS, la finalidad de este ensayo es predecir si un suelo puede llegar presentar alteraciones en su volumen debido a cambios en su contenido de humedad, este ensayo nos permite encontrar el (CVP) cambio volumétrico potencial, gracias al cvp podremos llegar a predecir su comportamiento, según los valores encontrados el (CVP) se dividirá en No crítico, Marginal, Crítico y Muy Crítico.

8.2.3.1 Ensayo #1

Tabla 35. Resultado No.1 de Presión de expansión

Indice de expansion (Mpa)	0,288
Cambio Volumetrico Potencial (CVP)	Critico

Fuente: Autores.

Para el ensayo # 1 se encontró un índice de expansión de 0,288 Mpa, según la gráfica que estipulada en la norma el cvp es crítico es decir el suelo puede llegar a presentar deformaciones debido a cambios en su humedad.

8.2.3.2 Ensayo #2

Tabla 36. Resultado No.2 de Presión de expansión.

Indice de expansion (Mpa)	0,258
Cambio Volumetrico Potencial (CVP)	Critico

Fuente: Autores.

Al igual que el ensayo #1 el índice de expansión se encuentra en el rango de 0,25 y 0,29 Mpa, igualmente mediante la gráfica de índice de expansión vs cambio volumétrico potencial (CVP) se encontró un (CVP) crítico.

8.2.3.3 Ensayo #3

Tabla 37. Resultado No.3 de Presión de expansión.

Indice de expansion (Mpa)	0,284
Cambio Volumetrico Potencial (CVP)	Critico

Fuente: Autores.

Del ensayo # 3 se puede inferir que las pruebas fueron realizadas correctamente, esto debido a que fue encontrado un valor que además de ser muy cercano al #1 se encuentra en el rango de 0,25 y 0,29 Mpa.

8.2.3.4 Ensayo #4

Tabla 38. Resultado No.4 de Presión de expansión.

Indice de expansion (Mpa)	0,292
Cambio Volumetrico Potencial (CVP)	Critico

Fuente: Autores.

A través del ensayo #4 se puede verificar que los datos obtenidos anteriormente son confiables, ya que los valores se encuentran muy cercanos entre sí.

8.2.3.5 Ensayo #5

Tabla 39. Resultado No.5 de Presión de expansión.

Indice de expansion (Mpa)	0,253
Cambio Volumetrico Potencial (CVP)	Critico

Fuente: Autores.

El ensayo #5 al igual que el ensayo #2 posee una índice expansión de 0,25 es decir poco variable entre sí; a pesar de no estar en el rango de los valores encontrados en los otros 3 ensayos, se difiere que los resultados obtenidos dictan que el suelo en estudio al tener un (CVP) critico puede presentar cambios en su estructura debido a variaciones en su humedad.

8.2.4 Ensayo de Expansión Libre

La realización de la prueba esta guiada por la norma 132-13 INVIAS tiene como finalidad encontrar el índice de expansión libre, la prueba se debe realizar en suelos cohesivos, dichos suelos se deben reconocer de manera inmediata, este ensayo se realiza con el fin de evaluar el comportamiento expansivo de estos materiales.

8.2.4.1 Ensayo #1

Tabla 40. Resultado No.1 de Expansión libre.

25,45%

Fuente: Autores.

Con el ensayo #1 se encontró un Índice de expansión libre de 25,45%, según este valor se puede inferir que el suelo puede llegar a expandirse libremente con presencia de agua.

8.2.4.2 Ensayo #2

Tabla 41. Resultado No.2 de Expansión libre.

20,83%

Fuente: Autores.

Para la prueba #2 se obtuvo un índice de 20,83%, este valor al igual que el ensayo #1 presenta un valor mayor a 20.

8.2.4.3 Ensayo #3

Tabla 42. Resultado No.3 de Expansión libre.

22,73%

Fuente: Autores.

A través del ensayo #2 se halló un índice de expansión libre de 22,73%, gracias a esta prueba se puede corroborar que los resultados encontrados son confiables, debido a que se encuentran cercanos entre sí.

8.2.4.4 Ensayo #4

Tabla 43. Resultado No.4 de Expansión libre.

20,00%

Fuente: Autores.

Mediante el ensayo #4 se obtuvo un valor de 20%, dicho valor es muy cercano al encontrado en la prueba #2.

8.2.4.1 Ensayo #5

Tabla 44. Resultado No.5 de Expansión libre.

27,27%

Fuente: Autores.

Con el ensayo #5 se encontró un índice de expansión libre de 27,27%, dicho valor es el que más se aleja de los 4 anteriores, ya que los valores encontrados no tuvieron mayor variación se infiere que el ensayo fue realizado de manera correcta.

8.2.5 Ensayo de Consolidación

El ensayo se encuentra estipulado en la norma 151-13 INVIAS con esta prueba se busca encontrar la magnitud y velocidad de consolidación, estos datos son empleados para determinar la magnitud y velocidad de los asentamientos de una estructura, dicha prueba emplea la teoría de consolidación estipulada por Terzaghi para encontrar el coeficiente de consolidación.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los ensayos de consolidación, los cálculos empleados para llegar a estos datos se encuentran estipulados en los anexos, para encontrar el t_{90} y con este el Coeficiente de consolidación fue necesario realizar una gráfica de Deformación Unitaria vs Raíz de (t).

8.2.5.1 Ensayo #1

Tabla 45. Resultado No.1 de Consolidación.

	Carga	T90 (seg)	Cv
Cargue	1 Kg	2280	0,000410
	2 Kg	1020	0,000917
	4 Kg	900	0,001039
	8 Kg	1080	0,000866
Descargue		2040	0,000458
		2040	0,000458

Fuente: Autores.

8.2.5.2 Ensayo #2

Tabla 46. Resultado No.2 de Consolidación.

	Carga	T90 (seg)	Cv
Cargue	1 Kg	2220	0,000483
	2 Kg	900	0,001193
	4 Kg	1020	0,001052
	8 Kg	960	0,001118
Descargue		2160	0,000497
		2280	0,000471

Fuente: Autores.

8.2.5.3 Ensayo #3

Tabla 47. Resultado No.3 de Consolidación.

	Carga	T90 (seg)	Cv
Cargue	1 Kg	2040	0,000550
	2 Kg	840	0,001335
	4 Kg	900	0,001246
	8 Kg	840	0,001335
Descargue		2100	0,000534
		2100	0,000534

Fuente: Autores.

8.2.5.4 Ensayo #4

Tabla 48. Resultado No.4 de Consolidación.

	Carga	T90 (seg)	Cv
Cargue	1 Kg	2160	0,000475
	2 Kg	1020	0,001006
	4 Kg	900	0,001140
	8 Kg	960	0,001069
Descargue		2100	0,000489
		2280	0,000450

Fuente: Autores.

8.2.5.5 Ensayo #5

Tabla 49 Resultado No.5 de Consolidación.

	Carga	T90 (seg)	Cv
Cargue	1 Kg	2100	0,000489
	2 Kg	960	0,001069
	4 Kg	900	0,001140
	8 Kg	780	0,001315
Descargue		2040	0,000503
		2040	0,000503

Fuente: Autores.

8.2.6 Ensayo de Corte Directo

Dicha prueba se encuentra enmarcada en la norma 154-13 INVIAS, se busca con este ensayo encontrar la resistencia al corte de una muestra de suelo, para determinar la velocidad con la que se va a cortar la muestra es necesario el t90 y el t50 encontrados en el ensayo de consolidación.

A continuación, se muestran los resultados encontrados para cada prueba de corte directo, se recomienda para este ensayo fallar las muestras inmediatamente después de realizado el Proctor con la humedad optima, esto para evitar que se presenten cambios de humedad en la muestra, dichos cambios pueden ocasionar resultados muy alejados entre sí.

8.2.6.1 Ensayo #1

Tabla 50. Resultado No.1 de Corte directo.

Corte No	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm ²)
1	1,00	1,2405
2	2,00	1,3589
3	4,00	2,4132
Cohesion		Angulo de Friccion
0,7133		22,31

Fuente: Autores.

8.2.6.2 Ensayo #2

Tabla 51. Resultado No.2 de Corte directo.

Corte No	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm ²)
1	1,00	1,220
2	2,00	1,378
3	4,00	2,508
Cohesion		Angulo de Friccion
0,6548		24,17

Fuente: Autores.

8.2.6.3 Ensayo #3

Tabla 52. Resultado No.3 de Corte directo.

Corte No	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm ²)
1	1,00	1,278
2	2,00	1,358
3	4,00	2,526
Cohesion		Angulo de Friccion
0,6943		23,74

Fuente: Autores.

8.2.6.4 Ensayo #4

Tabla 53. Resultado No.4 de Corte directo.

Corte No	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm ²)
1	1,00	1,271
2	2,00	1,431
3	4,00	2,536
Cohesion		Angulo de Friccion
0,7187		23,77

Fuente: Autores.

8.2.6.5 Ensayo #5

Tabla 54. Resultado No.5 de Corte directo.

Corte No	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm ²)
1	1,00	1,215
2	2,00	1,471
3	4,00	2,508
Cohesion		Angulo de Friccion
0,6962		23,92

Fuente: Autores.

9 ANÁLISIS DE RESULTADOS

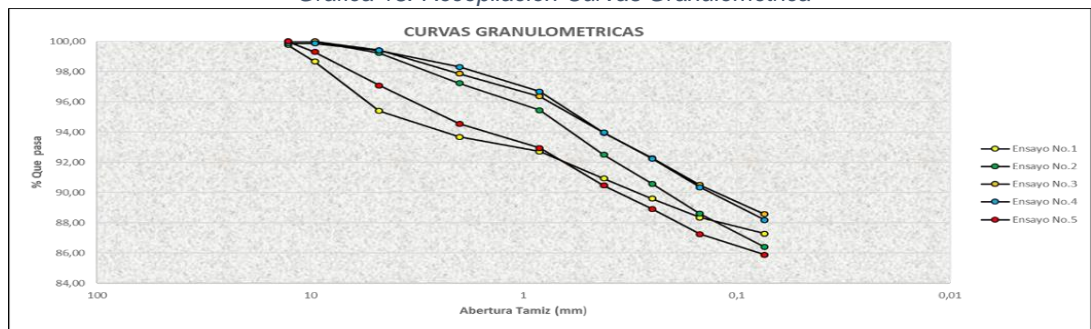
Este trabajo de grado tiene como objetivos principales realizar una caracterización geotécnica y un estudio geológico de un suelo arcilloso; se iniciará el análisis de resultados llevando a cabo la caracterización geotécnica del material en estudio, para esto se procedió a realizar un tratamiento estadístico con los datos obtenidos gracias a los ensayos; con el fin de definir el tipo de suelo y sus características mecánicas.

9.1 PROPIEDADES INDICE Y CLASIFICACION DEL SUELO

9.1.1 Granulometría

El procedimiento para la ejecución de este ensayo lo establece la norma INVE-123-13. Primeramente y gracias a los datos obtenidos de la granulometría realizada a las 5 muestras representativas de suelo, se encontró que el suelo posee porcentajes muy altos de finos (media de 87,97%), a continuación, se muestran las 5 curvas granulométricas obtenidas en una sola gráfica, ver grafica 18, además de los cálculos estadísticos obtenidos de estas mismas ver tabla 55.

Gráfica 18. Recopilación Curvas Granulométrica



Fuente: Autores.

Tabla 55. Recopilación de datos de granulometría.

#Ensayo	% Gravas	% Arenas	%Finos
#1	4,61	8,11	87,28
#2	0,78	12,82	86,40
#3	0,59	10,85	88,57
#4	0,61	9,04	90,35
#5	2,92	9,83	87,25
Media	1,90	10,13	87,97
Mediana	0,78	9,83	87,28
Desviacion Estandar	1,80	1,81	1,53
Varianza	3,25	3,28	2,37
Coefficiente de Variacion	0,85	0,16	0,016

Fuente: Autores.

El coeficiente de variación encontrado para cada ítem corresponde a un valor menor a 1, lo que sugiere que los ensayos fueron realizados de manera correcta.

9.1.2 Limite liquido

El procedimiento para la ejecución de este ensayo lo establece la norma INVE-125-13. El límite líquido se determina mediante tanteos de humedad agregada a una muestra específica de suelo seca, de la cual se extrae una porción para ser extendida en la cazuela de Casagrande y dividida por la mitad con un ranurador, por lo que fluirá a consecuencia de los golpes ocasionados por la caída repetitiva de la cazuela sobre una base normalizada. A continuación, se muestran los 5 valores de límite líquido obtenidos y sus respectivos datos estadísticos para este ensayo ver Tabla 56.

Tabla 56. Recopilación de datos de Limite líquido.

#Ensayo	LL (%)
#1	50,61
#2	55,96
#3	51,45
#4	52,72
#5	53,30
Media	52,81
Mediana	52,72
Desviacion Estandar	2,05
Varianza	4,21
Coefficiente de Variacion	0,03

Fuente: Autores.

A continuación, se muestra la Tabla 132-1 extraída de la norma INVE-132, esta tabla tiene como finalidad predecir la expansividad del suelo a partir del límite líquido

Tabla 57. Predicción de la expansividad del suelo según Limite líquido.

GRADO DE EXPANSIÓN	LÍMITE LÍQUIDO	
	CHEN	NORMA IS 1498
Bajo	< 30	20 – 35
Medio	30 – 40	35 – 50
Alto	40 – 60	50 – 70
Muy alto	> 60	70 - 90

Fuente: Norma Invias 132-Tabla 132.1.

Los valores de limite liquido obtenidos sugieren que el suelo posee un grado de expansividad alto, esto se concluye debido a que el límite liquido en los 5 ensayos fue mayor a 50% y menor a 70%.

9.1.3 Limite Plástico

El procedimiento para la ejecución de este ensayo lo establece la norma INVE-126-13. El material empleado para determinar este límite fue el mismo usado para encontrar el límite líquido, el límite plástico se determina girando una pequeña porción de suelo húmedo sobre un base de vidrio hasta formar rollos de 3.2mm de diámetro, reduciendo su contenido de agua hasta producir su agrietamiento, por lo que la humedad más baja con la que se puedan formar pequeños cilindros de este diámetro se establece como límite plástico. A continuación, se muestran los 5 valores de limite plástico obtenidos y sus respectivos datos estadísticos encontrados para este ensayo ver Tabla 58. [17]

Tabla 58. Recopilación de datos de limite Plástico.

#Ensayo	LP
#1	21,09
#2	21,49
#3	21,26
#4	21,35
#5	21,70
Media	21,38
Mediana	21,35
Desviacion Estandar	0,23
Varianza	0,05
Coficiente de Variacion	0,01

Fuente: Autores.

Los valores obtenidos fueron muy cercanos entre sí, no se encontró mayor desviación en los resultados obtenidos.

Una vez encontrados los resultados de límites de Atterberg y granulometría se continúa encontrando el índice de plasticidad para cada uno de los ensayos, el cual es simplemente la resta entre el límite plástico y el límite líquido.

Tabla 59. Recopilación Limite líquido, limite plástico, índice de plasticidad.

#Ensayo	LL (%)	LP	IP
#1	50,61	21,09	29,52
#2	55,96	21,49	34,47
#3	51,45	21,26	30,19
#4	52,72	21,35	31,37
#5	53,30	21,70	31,60

Fuente: Autores.

A través de la tabla 132-2 y el índice de plasticidad se podrá predecir el grado de expansión del suelo, al igual que con la anterior tabla se encontró un grado de expansión alto, a continuación, se muestra la tabla empleada.

Tabla 60. Grado de expansión del suelo según índice de plasticidad.

GRADO DE EXPANSIÓN	ÍNDICE DE PLASTICIDAD		
	HOLTZ Y GIBBS	CHEN	NORMA IS 1498
Bajo	< 20	0 – 15	< 12
Medio	12 – 34	10 – 35	12 – 23
Alto	23 – 45	20 – 55	23 – 32
Muy alto	> 32	> 35	> 32

Fuente: Norma Invias 132-Tabla 132.2.

9.1.4 Humedad Natural

Determinar la humedad natural del suelo no es otra cosa que hallar la cantidad de agua que contiene determinado suelo en términos de su peso en seco. Al igual que el límite plástico la humedad natural no presentó mayor variación en sus datos, a continuación, se muestra el tratamiento estadístico de los resultados encontrados.

Tabla 61. Recopilación Humedad natural.

#Ensayo	Humedad Natural (%)
#1	4,84
#2	4,09
#3	4,51
#4	4,48
#5	4,32
Media	4,45
Mediana	4,48
Desviacion Estandar	0,28
Varianza	0,08

Fuente: Autores.

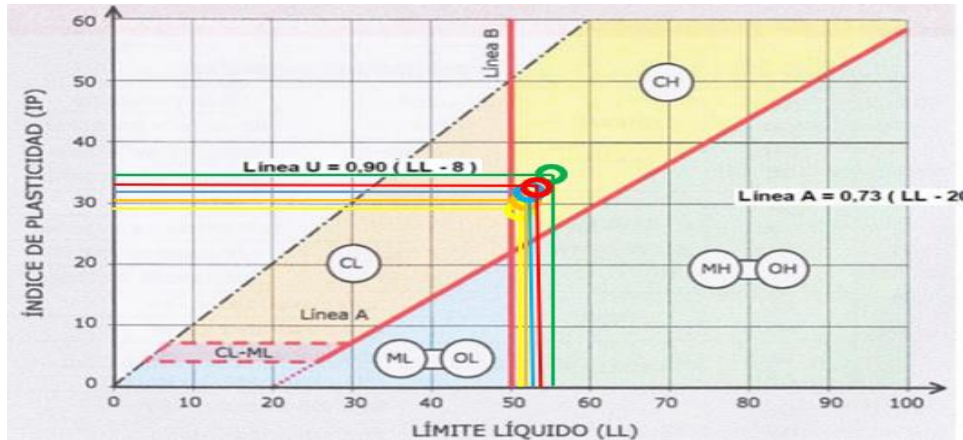
Se evidencia una humedad natural mínima de 4,09% y máxima de 4,84%, dando como resultado un coeficiente de variación confiable de 0,06.

9.1.5 Clasificación del suelo SUCS

Según el sistema unificado de clasificación (S.U.C.S) los suelos se dividen en suelos gruesos (<50% pasa el tamiz #200) y suelos finos (>50% pasa el tamiz #200), el suelo en estudio se clasifica dentro de lo que sería un suelo de partículas finas, esto debido a que según la granulometría el material contiene una media de 87,97% de finos, según este método los suelos considerados finos deberán ser clasificados por medio de la carta de Casagrande, para clasificarlos es necesario tener su límite

líquido y su índice de plasticidad ,según la carta de Casagrande el suelo en estudio se encuentra por encima de la línea A, por lo que se clasifica como una arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH). [18]

Gráfica 19 Carta de Casagrande para suelos cohesivos



Fuente: <https://www.slideshare.net/PedroGuamn/clasificacion-suelos-57201037>.

Tabla 62. Clasificación del suelo en estudio.

Suelo en Estudio	
% Gravas	1,9
% Arenas	10,13
% Finos	87,97
LL (%)	52,81
LP	21,38
IP	31,43
Humedad natural (%)	4,45
Clasificación SUCS	CH (Arcilla Alta Plasticidad)

Fuente: Autores.

9.1.6 Clasificación del suelo AAHSTO

Inicialmente se observa que más del 35% del material pasa por el tamiz No.200, por lo que se ubica como un suelo fino, a continuación, se encontró el índice de grupo

necesario para determinar la calidad de un suelo como material para terraplenes y carreteras.

Figura 30. Índice de Grupo clasificación aashto

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

Fuente: Norma Invias 180-Formula 180.1.

$$IG = (87,97 - 35) [0,2 + 0,005(52,81 - 40)] + 0,01(87,97 - 15) (31,43 - 10)$$

$$IG = 20$$

Teniendo su LL, IP y su índice de grupo sabemos que el suelo se ubicara dentro del grupo A-7, los suelos ubicados en el grupo A-7 se dividen en A-7-5 y A-7-6, para determinar en qué subgrupo se encuentra el suelo se usó a la regla mostrada en la imagen32. Una vez usado dicho criterio se encontró que el suelo está ubicado en el grupo A-7 y en el subgrupo A-7-5 por consiguiente la clasificación aashto es A-7-5(20).

Figura 31. Clasificación Método aashto

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia				B							
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Fuente: Norma AASHTO 2003

9.1.7 Límite de Contracción

El procedimiento para la ejecución de este ensayo lo establece la norma INVE-127-13. La media obtenida de los 5 ensayos de límite de contracción realizados a la arcilla de alta plasticidad fue de 11,5 como se muestra en la siguiente figura.

Tabla 63. Recopilación Límite de contracción, relación de contracción, cambio volumétrico y contracción lineal.

#Ensayo	Limite de Contraccion		Relacion de Contraccion		Cambio Volumetrico		Contraccion Lineal	
#1	11,26	11,87	1,87	2,15	72,63	81,95	16,64	18,09
#2	11,17	11,66	1,81	1,98	70,32	75,93	16,26	17,16
#3	11,82	11,14	1,95	1,98	74,60	76,76	16,95	17,29
#4	11,33	11,41	1,93	2,19	74,80	84,59	16,99	18,48
#5	11,87	11,44	1,92	2,18	73,29	83,94	16,76	18,38
Media	11,50		2,00		76,88		17,30	
Mediana	11,43		1,97		75,37		17,08	
Desviacion Estandar	0,27		0,13		4,68		0,72	
Varianza	0,07		0,02		21,94		0,52	
Coefficiente de Variacion	0,02		0,06		0,06		0,04	

Fuente: Autores.

Gracias a el límite de contracción, limite líquido y índice de plasticidad se pueden definir criterios que dicten el grado de expansividad que presenta el suelo.

La tabla mostrada a continuación fue elaborada por Seed en el año 1962, relaciona la expansividad del suelo en términos de sus propiedades índice, para este caso se encontró un límite de contracción y un índice de plasticidad que ubican al material con un grado de expansividad alto.

Tabla 64. Criterios de expansividad

Criterios de expansividad					
Expansividad	En terminos de propiedad indice			En muestras compactadas	
	Limite de contraccion	Indice de plasticidad	Actividad	Potencial de Hinchamiento De Seed (%)	Indice de Lambe (Kg/cm ²) Muestra seca o húmeda
Baja	>15	<18	<0.5	0 – 1.5	<0.8
Media	12 - 16	15 – 28	0.5 – 0.7	1.5 – 5.0	0.8 – 1.5
Alta	8 – 12	25 – 40	0.7 – 1.0	5 – 25	1.5 – 2.3
Muy alta	<10	>35	>1.0	>25	>2.3

Fuente: Fundaciones en arcillas expansivas, 1975, pág. 361. Rodríguez Roa.

Este método desarrollado por Holtz en el año 1959, define el grado de expansión de un suelo en términos de la cantidad de coloides, índice de plasticidad y el límite de contracción, según los resultados encontrados el suelo posee un grado de expansión alto.

Tabla 65. Estimación cambio volumétrico en suelos expansivos

Contenido de coloide (<0.001 mm) en %	Índice Plástico	Límite de contracción	% Expansión probable (seco a saturado) %	Grado de expansión
>28	>35	<11	>30	Muy alto
20-31	25-41	7-12	20-30	Alto
13-23	15-28	10-16	10-20	Medio
<15	<18	>15	<10	Bajo

Fuente: La acción de los suelos expansivos sobre las cimentaciones, Pag 5. Julio Patrone y José Prefumo.

En el año 1965 Los autores Ranganatham & Satyanarayana clasificaron la expansión del suelo a través del índice de contracción, que es la resta entre el límite

líquido y el límite de contracción, según estos autores y los anteriores el suelo tendrá un potencial de expansión alto.

Tabla 66. Clasificación del potencial de expansión

Índice de Contracción (%) IC = LL-LC	Clasificación del potencial de expansión
<20	Bajo
20 – 30	Medio
30 - 60	Alto
>60	Muy alto

Fuente: Exploraciones Geotécnicas, Universidad Nacional, Pag 2.

Raman en el año 1967 definió el grado de expansión de un suelo relacionando el índice de plasticidad y el índice de contracción, para esta tabla al igual que en los anteriores se encontró un grado de expansión alto. [19]

Tabla 67. Grado de expansión del suelo

Índice Plástico (%)	Índice de Contracción (%) IC = LL-LC	Grado de expansión
<20	<15	Bajo
12 – 33	15 – 30	Medio
23 – 32	30 – 40	Alto
>32	>40	Muy alto

Fuente: Exploraciones Geotécnicas, Universidad Nacional, Pag 4.

9.2 PROPIEDADES MECANICAS

9.2.1 Proctor Modificado

El procedimiento para la ejecución de este ensayo lo establece la norma INVE-142-13. Con los 5 ensayos de Proctor modificado se halló una media de humedad óptima del 16,38% y un peso unitario seco de 19,06 como se muestra en la siguiente tabla.

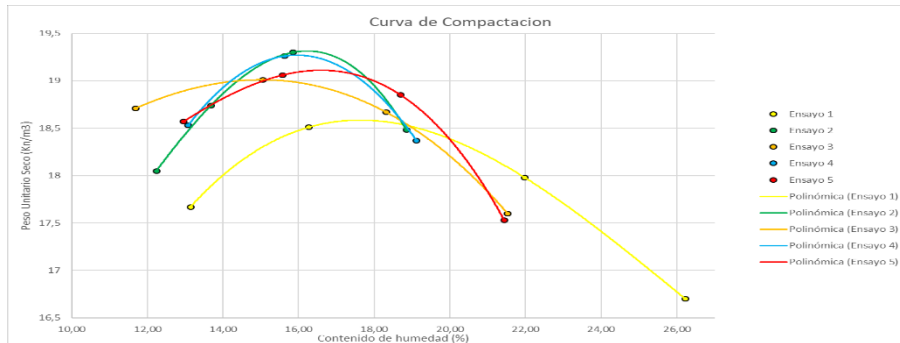
Tabla 68. Recopilación Humedad optima y Peso unitario seco

#Ensayo	Proctor Modificado	
	Humedad Optima (%)	Peso Unitario Seco (Kn/m3)
#1	17,80	18,60
#2	16,10	19,32
#3	15,50	19,00
#4	16,00	19,28
#5	16,50	19,10
Media	16,38	19,06
Mediana	16,10	19,10
Desviacion Estandar	0,87	0,29
Varianza	0,76	0,08
Coefficiente de Variacion	0,05	0,01

Fuente: Autores.

Este resultado de humedad optima fue el utilizado para realizar los especímenes empleados en los ensayos de corte directo y consolidación. En la siguiente grafica se pueden comparar gráficamente los resultados obtenidos.

Gráfica 20. Recopilacion Curvas de compactación



Fuente: Autores.

9.2.2 Compresión Simple

El procedimiento para la ejecución de este ensayo lo establece la norma INVE-152-13. La media hallada entre los 5 ensayos de compresión simple nos da un valor de carga máxima soportada por unidad de área de 0,9427 Kg/cm².

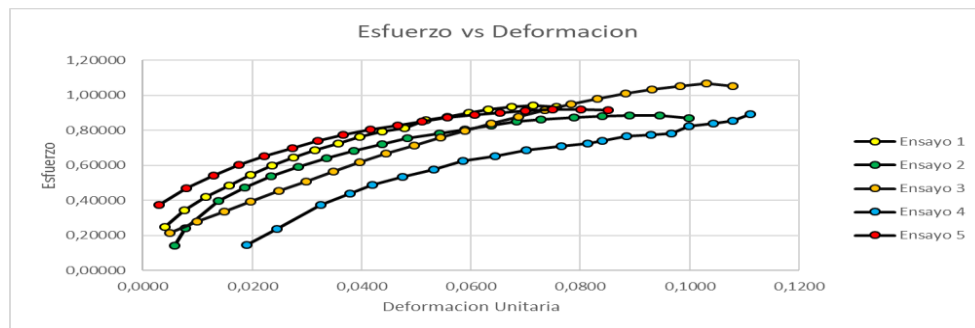
Tabla 69. Recopilación resultados Compresión simple.

#Ensayo	Compresion Simple	
	Esfuerzo (Kg/cm2)	Resistencia al Corte (Kg/cm2)
#1	0,9397	0,4699
#2	0,8860	0,4430
#3	1,0653	0,5327
#4	0,9033	0,4516
#5	0,9194	0,4597
Media	0,9427	0,4714
Mediana	0,9194	0,4597
Desviacion Estandar	0,0713	0,0357
Varianza	0,0051	0,0013
Coficiente de Variacion	0,07	0,07

Fuente: Autores.

En la siguiente grafica se pueden observar los resultados recopilados de la prueba, gracias a esto se podrá comparar gráficamente los resultados obtenidos de este ensayo.

Gráfica 21. Recopilación Graficas Esfuerzo vs Deformación



Fuente: Autores.

Una vez encontrada la resistencia a la compresión simple (q_u), se podrá clasificar el suelo en términos de su consistencia, entre más consistencia presente el suelo más podrá soportar cargas sin sufrir deformaciones, Los ingenieros (Terzaghi y Peck, 1955) propusieron la tabla mostrada a continuación, para la resistencia a la compresión encontrada 0,9427 (Kg/cm²) tendremos una consistencia media.

Tabla 70. Identificación de consistencia según q_u .

Consistencia	Resistencia a la compresión simple en kg/cm^2	Identificación <i>in situ</i>
Muy blanda	$q_u \leq 0,25$	Se puede hundir el puño varios centímetros
Blanda	$0,25 \leq q_u \leq 0,50$	Se puede hundir el pulgar varios centímetros
Media	$0,5 \leq q_u \leq 1$	Se puede lo anterior pero con esfuerzo
Firme (suelo rígido)	$1 \leq q_u \leq 2$	Se puede marcar pero con gran esfuerzo
Muy firme (muy rígido)	$2 \leq q_u \leq 4$	Se raya fácilmente con la uña del pulgar
Dura	$4 \leq q_u \leq 8$	Difícil de rayar con la uña del pulgar
Muy dura	$q_u \geq 8$ (parece roca, aunque en rocas la q_u suele ser >1000)	

Fuente: EL TERRENO MATILDE GONZALES CABALLERO

9.2.3 Presión De Expansión

En la tabla que se observa a continuación se encuentran los resultados obtenidos de presión de expansión para cada muestra, estos valores fueron obtenidos a través del aparato de lambe.

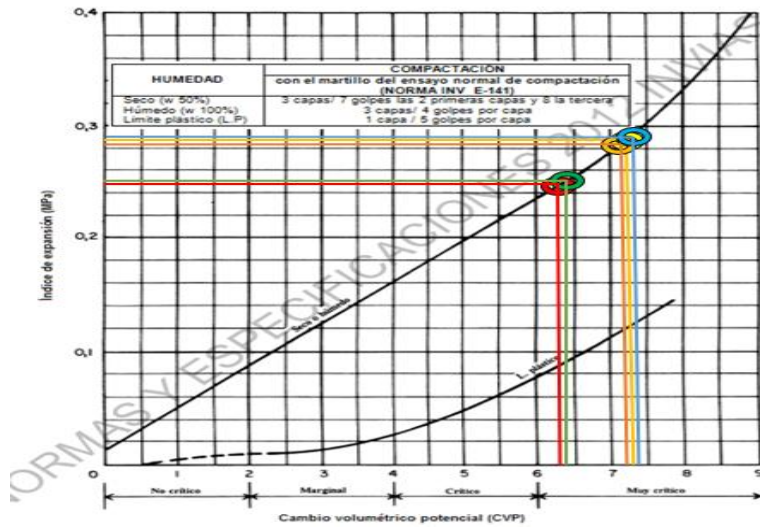
Tabla 71. Recopilación resultados Presión de expansión.

#Ensayo	Presión de Expansión (Mpa)
#1	0,288
#2	0,258
#3	0,284
#4	0,292
#5	0,253
Media	0,275
Mediana	0,284
Desviación Estandar	0,018
Varianza	0,0003
Coefficiente de Variación	0,06

Fuente: Autores.

Con los valores de presión de expansión encontrados se puede definir el Cambio Volumétrico Potencial (CVP), la gráfica a usar se encuentra en la norma 120-13 INVIAS, el CVP se divide en No crítico, Marginal, Crítico y No crítico.

Gráfica 22. Índice de expansión vs Cambio Volumétrico Potencial (Cvp)



Fuente: Norma Invias 120-Figura 120.1.

Según los valores encontrados el (CVP) para este suelo, se concluye que el material podrá sufrir cambios en su volumen debido al incremento en su humedad, a continuación, se muestra la recopilación de los resultados obtenidos.

Tabla 72. Peligro de expansión según CVP

#Ensayo	CVP	Peligro de Expansión
#1	7,6	Muy Crítico
#2	6,7	Muy Crítico
#3	7,4	Muy Crítico
#4	7,8	Muy Crítico
#5	6,6	Muy Crítico

Fuente: Autores.

9.2.4 Expansión Libre

El procedimiento para la ejecución de este ensayo lo establece la norma INVE-132-13. La media del aumento de volumen que sufrió el suelo sin restricciones externas y sumergido en agua fue de 23,26.

Tabla 73. Recopilación de resultados Ensayo de expansión libre

#Ensayo	Expansión Libre
#1	25,45%
#2	20,83%
#3	22,73%
#4	20,00%
#5	27,27%
Media	23,26
Mediana	22,73
Desviación Estandar	3,07
Varianza	9,42
Coefficiente de Variación	0,12

Fuente: Autores.

9.2.5 Consolidación

El procedimiento para la ejecución de este ensayo lo establece la norma INVE-151-13. Se realizaron 5 ensayos de consolidación a muestras representativas del suelo, dando como resultado una media de coeficiente de consolidación de cargue y descargue ilustrados en la siguiente tabla.

Tabla 74. Recopilación de resultados Ensayo Consolidación

#Ensayo	CARGUE				DESCARGUE	
	1 Kg/cm ²	2 Kg/cm ²	4 Kg/cm ²	8 Kg/cm ²		
	Coefficiente de Consolidación					
#1	0,000410	0,000917	0,001039	0,000866	0,000458	0,000458
#2	0,000483	0,001193	0,001052	0,001118	0,000497	0,000471
#3	0,000550	0,001335	0,001246	0,001335	0,000534	0,000534
#4	0,000475	0,001006	0,001140	0,001069	0,000489	0,000450
#5	0,000489	0,001069	0,001140	0,001315	0,000503	0,000503
Media	0,000481	0,001104	0,001123	0,001141	0,000496	0,000483
Mediana	0,000483	0,001069	0,001140	0,001118	0,000497	0,000471
Desviación Estandar	0,000045	0,000146	0,000075	0,000173	0,000024	0,000031
Coefficiente de Variación	0,092467	0,132556	0,066379	0,151474	0,049256	0,064514

Fuente: Autores.

9.2.6 Corte Directo

A través del ensayo de corte directo se pueden encontrar los parámetros de cohesión y Angulo de fricción de cada suelo, para este tipo de suelo se encontró una cohesión promedio de 0,6955 y un ángulo de fricción de 23,58°, para determinar estas características propias del suelo fue necesario aplicar la teoría de Mohr-Coulomb, dónde el ángulo de fricción es la tangente inversa del valor que acompaña la x y la cohesión es el número que sigue después.

Tabla 75. Recopilación de resultados Ensayo corte directo

#Ensayo	Corte Directo	
	Cohesion (Kg/cm2)	Angulo de Friccion (°)
#1	0,7128	52,87
#2	0,6542	54,45
#3	0,6949	53,01
#4	0,7181	53,93
#5	0,6968	53,24
Media	0,6954	53,50
Mediana	0,6968	53,24
Desviacion Estandar	0,0224	0,5987
Varianza	0,0005	0,3584
Coefficiente de Variacion	0,03	0,01

Fuente: Autores.

9.3 ESTUDIO GEOLOGICO

Una vez realizada la caracterización geotécnica del suelo, se procedió a llevar a cabo el estudio geológico de la zona, para este estudio será necesario emplear el mapa geológico suministrado por INGEOMINAS, una vez se tenga el mapa geológico del lugar se puede distinguir las formaciones y estructuras geológicas, a

continuación, se hará una descripción de cada una de las formaciones y fallas geológicas presentes en el lugar.

Gráfica 23. Mapa geológico de Bucaramanga



Fuente: INGEOMINAS

Bucaramanga está compuesta por seis formaciones geológicas, las cuales son: Formación Bocas, Formación Diamante, Formación Girón, Gneis de Bucaramanga y Formación Bucaramanga; la Neis de Bucaramanga es definida como roca metamórfica, las formaciones restantes se definen como rocas sedimentarias.

9.3.1 FORMACIÓN BOCAS

Nombrada inicialmente por Dickey en el año 1941 como serie bocas; luego en el año 1973 Ward la nombra formación bocas, se ubica en el sector puente tierra y la

inspección Bocas por la vía Rionegro sobre esta formación se ubica el barrio El Paulon, predominan en ella limolitas de apariencia fina de colores gris verdoso y rojo, se ubican en estratos de aproximadamente 1m de espesor, en el año 1973 Ward la ubica en la edad Triásica. [6]

9.3.2 FORMACIÓN DIAMANTE

Dicha formación fue definida por Dickey en el año 1941, aflora al norte del municipio de Bucaramanga en cercanías a la quebrada la mona (Rionegro), Gonzáles en el año 1994 la divide en tres miembros; miembro inferior, miembro medio y miembro superior. De acuerdo con algunas investigaciones esta unidad pertenece a la edad Pérmica. [20]

9.3.3 FORMACIÓN GIRÓN

Nombre propuesto por Hettner en el año 1982 y Ward en el año 1973, su composición es similar a la de la formación Jordán se encuentra separada del macizo de Santander por la falla Bucaramanga-Santa Marta, se caracteriza por poseer areniscas y limolitas de color marrón que se intercalan con lodolitas rojas, se puede observar en la parte izquierda del río de oro y en la vía al aeropuerto, las rocas ubicadas en esta zona se encuentran fracturadas debido a la falla del Suarez, en el año 1968 Cediell la definió con una longitud aproximada de 4650m. [21]

9.3.4 GNEIS DE BUCARAMANGA

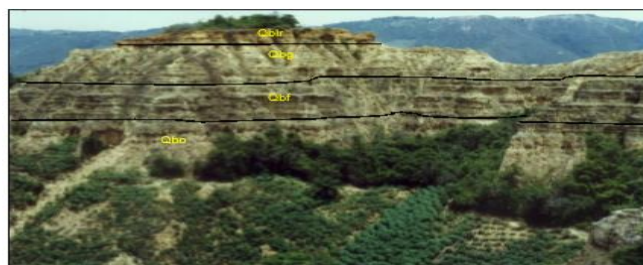
Este nombre fue definido por Ward y Goldsmith en el año 1973, dicha unidad posee rocas metamórficas del Precámbrico, se localiza al oriente del área metropolitana en el año 1993 según Mancera y Salamanca dicha unidad aflora en el cementerio

las colinas y el barrio pan de azúcar, esta formación hace parte del macizo de Santander contiene pendientes elevadas de 25° a 40°, se divide en tres tipos: neis biotítico, neis anfibólico y neis cuarzo feldespático.

9.3.5 FORMACION BUCARAMANGA

Esta formación fue descrita por De Porta en el año 1958, se define como un depósito de rocas sedimentarias del Cuaternario, sobre esta formación yace la zona urbana del municipio de Bucaramanga posee una superficie ondulada con pendientes entre 2° y 7° con un tamaño aproximado de 60 a 80 km², el espesor de dicha formación es aproximadamente de 250m, algunas investigaciones recientes las dividen en 5 grandes miembros Calcareo, Órganos (Qbo), Finos (Qbf), Gravoso (Qbg) y Limos Rojos (Qblr). Dos de los anteriores fueron definidos por Hubach en el año 1952 y los restantes por Niño y Vargas, el miembro calcáreo descrito por Niño y Vargas no es tenido en cuenta debido a que no presenta una separación clara con el miembro Órganos, de acuerdo con los estudios realizados para la construcción de la hidroeléctrica Fonce-Suarez, el lugar más antiguo de la formación tiene cerca de 730.000 años lo que la ubica en el Pleistoceno medio-superior. [6]

Figura 32. Panorámica de miembros que conforman la formación Bucaramanga



Fuente: Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana-Ingeominas-2001

9.3.5.1 MIEMBRO ORGANOS (Qbo)

Fue definido por Hubach en el año 1952, esta unidad ubicada en la formación Bucaramanga es considerada la de mayor espesor, aproximadamente posee 180m, se ubica al occidente cerca al municipio de Girón, esta unidad se caracteriza por tener un alto grado de erosión, se encuentra conformado por suelos finos, arcillas anaranjadas, arcillas arenosas y arcilla limosa. [21]

9.3.5.2 MIEMBRO FINOS (Qbf)

Al igual que el miembro órganos esta unidad fue definida por Hubach en el año 1952, esta unidad se encuentra ubicada entre el Miembro órganos (Qqbo) y el Miembro Gravoso (Qbg), es un estrato con un espesor aproximado de 15m, se observan en esta unidad niveles de arcilla, limos arenosos y arenas limosas, los sectores donde se puede observar son Real de Minas, Campo Hermoso entre otros.

9.3.5.3 MIEMBRO GRAVOSO (Qbg)

Nivel reconocido en el año 1992 por Niño y Vargas, esta unidad se ubica sobre la escarpa occidental y el norte de Bucaramanga, su morfología es similar a la del miembro órganos, el espesor de esta oscila entre 8 y 30m, afloran en su mayoría gravas y gravas arenosas, dichos depósitos contienen un grado de meteorización de medio a alto y un bajo porcentaje de humedad natural lo que sugieren que posee una excelente permeabilidad y una poca compactación.

9.3.5.4 MIEMBRO LIMOS ROJOS (Qblr)

Este nivel fue reconocido por Julivert en el año 1963, este miembro está ubicado en la zona urbana de Bucaramanga, geomorfológicamente en el año 1992 Niño y Vargas lo definieron con un relieve topográfico semiplano con pendientes de 2 a 7%, se encuentra formado en su mayoría por arenas arcillosas y limos de colores rojo, amarillo y naranja. [6]

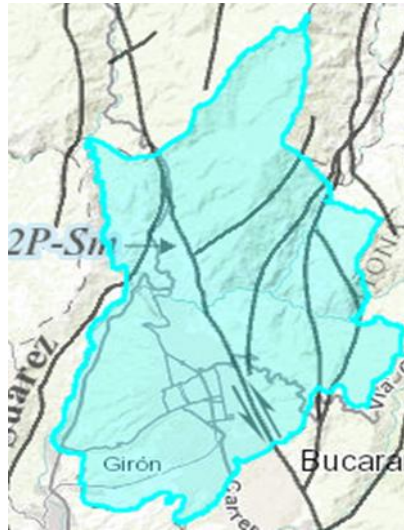
Figura 33. Perfil típico y espesor de formación Bucaramanga.

Miembro Limos Rojos	2 a 5m
Miembro Gravoso	4 a 15m
Miembro Finos	Hasta 15m
Miembro Organos	50 a >120m Hasta 200m??
ROCA	

Fuente: Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana-Ingeominas-2001

Una vez descritas las formaciones geológicas se continúa definiendo las estructuras geológicas presentes en la zona de estudio, a continuación, se muestran y describen estas fallas.

Gráfica 24 Mapa de fallas geológicas de Bucaramanga



Fuente: INGEOMINAS.

9.3.6 FALLA DE BUCARAMANGA

En el año 1973 Ward la definió con una dirección de $N15^{\circ}-25^{\circ}W$, dicha falla posee un desplazamiento siniestral con grandes desplazamientos verticales, Julivert en el año 1961 pudo concluir que la falla de Bucaramanga es una serie de fallas inversas, esta falla es considerada regional ya que cruza los departamentos de Santander y Boyacá, posee una longitud de 220 km, hacia el norte se encuentra con la falla de Santa Marta, un estudio realizado por INGEOMINAS en el año 1997 definió la falla como activa con capacidad de generar sismos con magnitudes no mayores a 7.2. [6]

9.3.7 FALLA DEL SUAREZ

La falla del Suarez es una falla inversa con un aspecto curvo con ondulaciones irregulares, presenta una dirección aproximada de $N30^{\circ}E$, esta falla afecta a las rocas sedimentarias ubicadas en la formación girón, junto con la falla del Carmen

conforman la llamada serranía de los cobardes, diversos estudios de campo afirman la actividad reciente de esta falla Julivert en el año 1963; Ward diez años más tarde y Paris y Sarria en el año 1988. [21]

10 CONCLUSIONES

- Una vez encontrados los resultados de granulometría, se concluye que el suelo en estudio posee altos porcentajes de finos (87,97%), dado que en el material predominan las partículas de grano fino es necesario encontrar los límites de consistencia; para este proyecto se obtuvo una media de (52,81%) para el límite líquido y (21,38%) para el límite plástico lo que nos arroja un índice de plasticidad promedio de (31,43).
- Gracias a la granulometría y los límites de atterberg es posible concluir su clasificación, por el método S.U.C.S y mediante la carta de plasticidad de Casagrande se encontró que el material es un (CH) arcilla inorgánica de alta plasticidad, mediante el método AHHSTO se obtuvo una clasificación de A-7-5(20) (Suelo arcilloso).
- Se puede concluir mediante la clasificación encontrada que el material en estudio al ser una arcilla de alta plasticidad puede contraerse y expandirse con cambios en su contenido de humedad, por lo tanto, se recomienda no usarlo como material de fundación.
- La determinación del límite de contracción nos dicta que tan probable es que el suelo se expanda o contraiga con presencia de agua, para este proyecto se encontró un límite de contracción promedio de (11,50%), con esto se concluye que el material al tener un grado de expansión alto puede llegar a ocasionar problemas en las construcciones que se hagan sobre él.

- Mediante el límite de contracción se podrá encontrar el índice de contracción de los suelos, para este caso se concluye que es 41,31% lo que indica que el suelo tiene un hinchamiento potencial alto.
- A través del ensayo de Proctor Modificado, se concluye que la humedad óptima para compactar el suelo es de 16,38%, su peso seco máximo es 19,06 (Kn/m³) y su densidad seca máxima 1,94 (g/cm³).
- Se puede concluir a través del ensayo de compresión simple que el q_u medio es de 0,9427 kg/cm²-(92,45 kpa), lo que indica que el material en estudio posee una consistencia media.
- Según el ensayo de presión de expansión se encontró un índice de expansión promedio de 0,2755 Mpa, con esto se concluye que el suelo contiene un cambio volumétrico potencial muy crítico, lo que indica que el material en estudio puede ejercer una fuerza considerable a la estructura al entrar en contacto con agua.
- Con la prueba de corte directo se obtuvo una cohesión promedio de 0,6955 Kg/cm² y un ángulo de fricción de (23,58°), se concluye que si este suelo se encuentra en un talud al tener un ángulo de fricción muy bajo puede generar problemas geotécnicos.

- La expansión que poseen naturalmente las arcillas puede producir deformaciones y asentamientos diferenciales en las estructuras, por este motivo es de vital importancia conocer e identificar antes de realizar cualquier obra civil el comportamiento de estas.
- Con respecto a la geología del sector se concluyó que en Bucaramanga no se presentan actualmente pliegues que puedan inferir en la construcción de alguna estructura.
- Existen en Bucaramanga 2 fallas geológicas actualmente las fallas del Suarez y la falla de Bucaramanga-Santa Marta, se concluye con este estudio que actualmente la falla que puede representar mayor peligro es el conjunto de fallas Bucaramanga-Santa Marta debido a que es la que se encuentra actualmente activa.
- Con respecto a las formaciones presentes en la zona se puede concluir que el suelo en estudio procede del miembro fino (Qbf) de la formación Bucaramanga.
- Cuando se empieza a materializar un proyecto es necesario que se realicen este tipo de estudios, dado que con ellos se puede definir inicialmente si la zona es apta para la construcción de cualquier obra de infraestructura.

11 RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones se recomienda prever la cantidad de suelo requerida para cada ensayo, así como su debido secado de 24h para la gran variedad de ensayos que así lo requieren.
- Se recomienda antes de realizar cada ensayo leer y conocer muy bien el procedimiento a emplear para cada prueba.
- Hacer el debido uso de los elementos de seguridad para evitar posibles afecciones de salud o accidentes que puedan comprometer la integridad física, por lo que es indispensable el uso de botas, guantes, tapabocas, gafas, bata, zapato cerrado y jean.
- Para la ejecución de ciertos ensayos donde se requiere una previa realización y extracción de muestras, se recomienda en lo posible ejecutar el ensayo inmediatamente después de realizada dicha muestra o en su defecto envolver bien la muestra en papel vinipel y guardarlas dentro del recipiente dispuesto por la universidad para el albergue de estas, lo anterior se hace para que la muestra no presente cambios en su contenido de humedad.
- En el ensayo de Proctor al realizar la adición de agua, se debe esparcir muy bien el suelo y rociar el agua de manera equitativa sobre este, para así evitar que solo una parte absorba la mayor cantidad de agua, así como su buen mezclado serán clave para obtener datos más precisos.

- Durante la realización del ensayo de límite de contracción se recomienda usar guantes, tapa bocas y gafas debido a que durante esta prueba se hará uso de mercurio, dicho químico es sumamente toxico para el cuerpo en general.
- Se recomienda dejar reposar las muestras una vez secadas al horno, esto con el fin de evitar encontrar resultados muy alejados a la realidad.
- Para futuros proyectos si se desea trabajar con materiales con gran cantidad de finos, se recomienda moler y apisonar los terrones que se forman cuando este suelo entra en contacto con agua.
- Para el ensayo de corte directo debido a que solo se dispone de una máquina, se recomienda preparar una cantidad considerable de muestras, esto se realiza con el fin de optimizar el tiempo empleado para cada prueba.
- Para el ensayo de compresión simple se recomienda verificar que en las muestras no existan rocas o materiales que puedan inducir a la muestra a fallar más lenta o rápidamente.
- Durante la realización del ensayo de consolidación es recomendable proteger la zona en donde se encuentran los edómetros, esto se realiza con el fin de que no existan movimientos, alteraciones o cambios en los resultados arrojados por el software.

12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. C. C. Villalaz, MECANICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES, Mexico, D.F.: LIMUSA, S.A. de C.V., 1998.
- [2] M. J. O. G. PEDRO CAMILO BOHORQUEZ QUIÑONES, «CARACTERIZACION PETROGRAFICA Y GEOTECNICA DE NUCLEOS ADQUIRIDOS EN LAS PERFORACIONES REALIZADAS EN EL ALTO DEL ESCORIAL, EN EL SECTOR DEL PUENTE IMPULSION HASTA PUENTE TONA, AL NORTE DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA,» UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, BUCARAMANGA, 2019.
- [3] B. J. R. C. CAMILA ANDREA TRUJILLO BOCANEGRA, «ESTUDIO GEOLÓGICO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA EN EL SECTOR DE CIUDADELA COMGIRARDOT DEL MUNICIPIO DE GIRARDOT,» CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN DE GEOLOGIA , GIRARDOT, 2018.
- [4] N. F. ORJUELA, «CARACTERIZACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA A PARTIR DE SONDEOS EN LOS SECTORES DE EL PALMAR, EL TUNO Y EL TANQUE, SOBRE LA VIA BUCARAMANGA-ALTO DEL ESCORIAL, SANTANDER,» UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, BUCARAMANGA, 2019.
- [5] M. HERMELÍN, de *Entorno natural de 17 ciudades de Colombia*, Medellín, Universidad EAFIT, 2007, p. 344.
- [6] CDMB, «Plan general para el control de la erosión 2010-2035,» Consorcio M&C, Bucaramanga, 2010.

- [7] H. R. Mantilla, Geología General, Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2005.
- [8] F. K. L. Edward J. Tarbuck, Ciencias de la Tierra Una introducción a la geología física 8a edición, Madrid: Pearson Educación S.A., 2005.
- [9] J. S. Díaz, «La Formación Bucaramanga,» de *Vision Geotecnica de la Amenaza Sísmica*, Bucaramanga, Geotecnología S.A.S, 2005, p. 145.
- [10] C.D.M.B , GEOTECNOLOGIA LTDA, «www.erosion.com.co,» MAYO 2005. [En línea]. Available: <https://www.erosion.com.co/presentaciones/category/18-deslizamiento-e-inundacion-en-giron-santander.html?download=222:221-tomo1-riodeoro-geologiaygeotecnia>. [Último acceso: 25 JUNIO 2019].
- [11] H. F. O. , N. R. R. P. S. I. A. B. Carlos Julio Morales Arias, «INTEGRACION GEOLOGICA E HIDROGEOLOGICA DEL CENTRO DE SANTANDER,» INGEOMINAS, Bogotá, 2010.
- [12] R. Whitlow, Fundamentos de mecánica de suelos, Mexico, D.F.: CONTINENTAL, S.A. DE C.V, 1994.
- [13] E. JUAREZ BADILLO y A. RICO RODRIGUEZ, FUNDAMENTOS DE LA MECANICA DE SUELOS , TOMO 1, MEXICO: LIMUSA, NORIEGA EDITORES, 2005.
- [14] R. D. INGENIEROS, Mecánica de Suelos, Barcelona: Editores técnicos asociados, s.a., 1975.
- [15] R. V. W. T. William Lambe, Mecánica de suelos, Editorial Limusa, 1972.
- [16] J. E. M. G. Jhon Deyver Sierra Molina, «EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO-AMBIENTAL DE UN SUELO ARCILLOSO MODIFICADO CON CENIZAS PROVENIENTES DE LOCACIONES

- PETROLERAS,» Universidad Pontificia Bolivariana (Facultad de Ingeniería Civil), Bucaramanga, 2015.
- [17] C. O. N. Quiñonez, «ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL,» Universidad Pontificia Bolivariana (Facultad de Ingeniería Civil), Bucaramanga, 2016.
- [18] J. B. B. Jorge Mario Pulido Garcia, «VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOMECAICAS EN ARCILLAS INORGÁNICAS DE ALTA PLASTICIDAD DESPUÉS DE LA ADICIÓN DE FIBRA DE POLIPROPILENO (FIBRATEX),» Universidad Pontificia Bolivariana (Facultad de Ingeniería Civil), Bucaramanga, 2016.
- [19] M. D. R. C. ., J. U. V. R. Victor Eduardo Calero Santos, DETERMINACION DEL COMPORTAMIENTO AL HINCHAMIENTO Y RETRACCIÓN DE SUELOS QUE TIENEN PLASTICIDAD, EN ALGUNOS PUNTOS DE LA CARRETERA LONGITUDINAL DEL NORTE, EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE METAPAN (DPTO. SANTA ANA) Y SENSUNTEPEQUE (DPTO. CABAÑAS), San Salvador: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, 2016.
- [20] S. D. A. GEOAMBIENTALES, «ZONIFICACIÓN SISMOGEO TÉCNICA INDICATIVA DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA,» INGEOMINAS, Bogotá, 2001.
- [21] CDMB, «Estudio Geológico Geomorfológico , Geotécnico y Estabilidad de laderas,» Geotecnología Ltda., Bucaramanga, 2005.

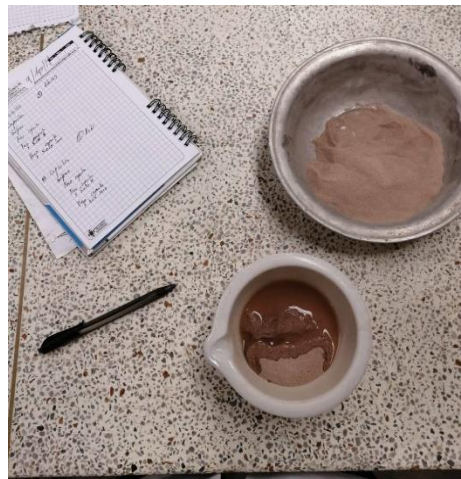
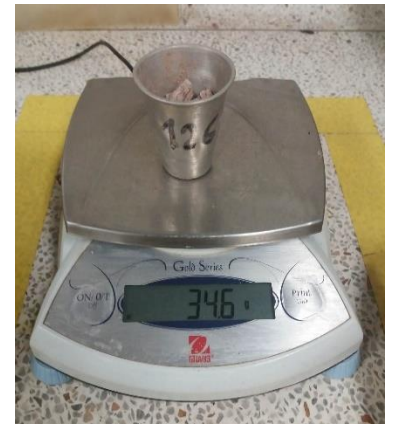
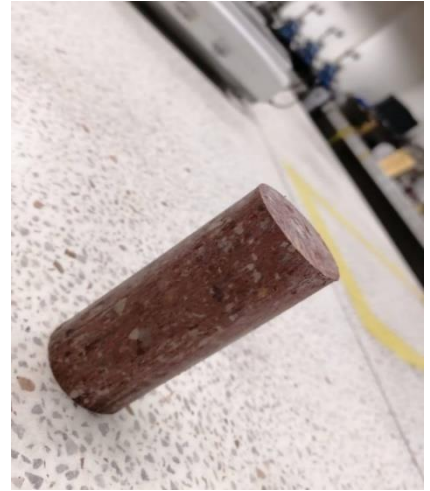
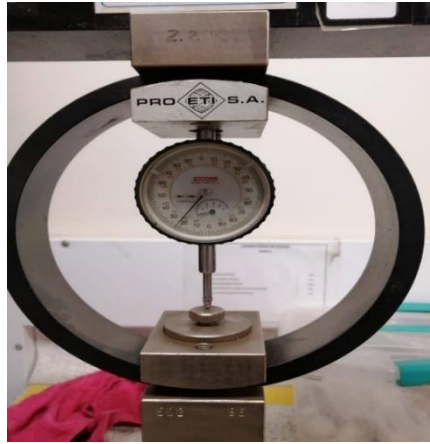
13. ANEXOS

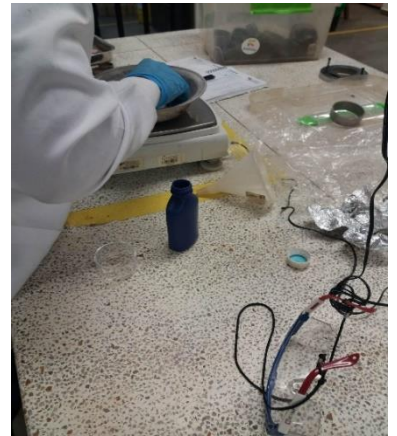
13.1 ANEXO REGISTRO FOTOGRAFICO

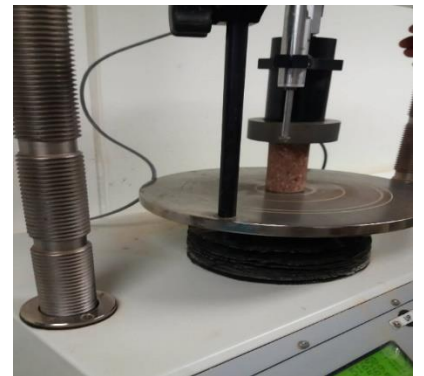
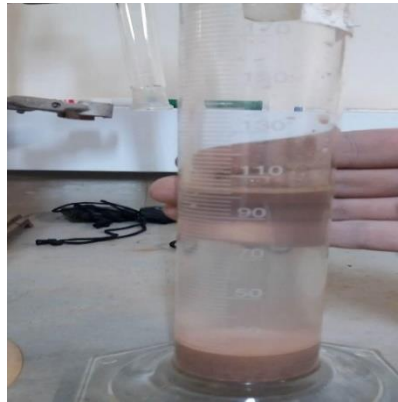
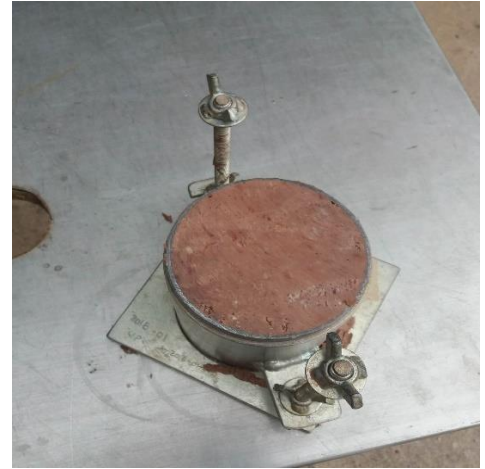
FUENTE: AUTORES

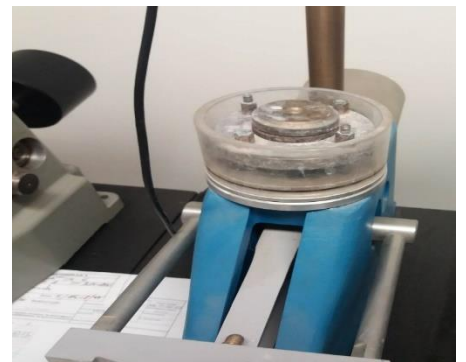
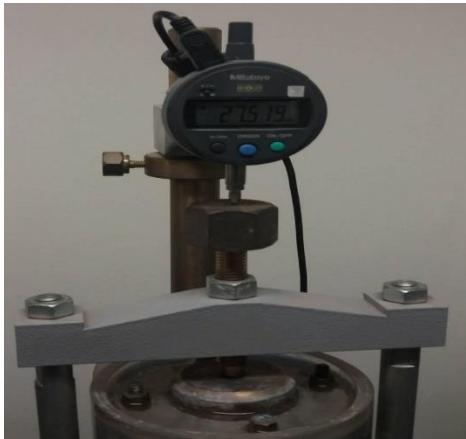







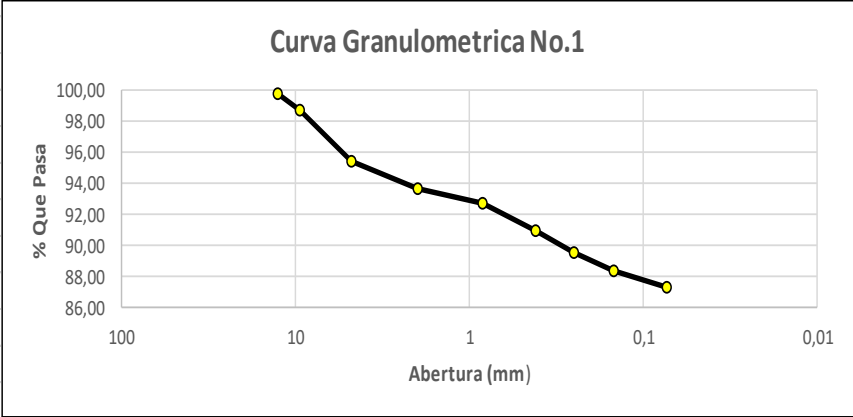








13.2 ANEXO GRANULOMETRIA

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO GRANULOMETRIA POR TAMIZADO CON LAVADO POR EL TAMIZ NO 200		INV E - 123 -13																																																																										
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores		Ricardo Andres Silva Hernandez																																																																								
	Ensayo No. 1		Fecha		15 de Mayo 2019																																																																								
<table border="1"> <tr> <td>Peso Suelo (g)</td> <td>1033</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Suelo Lavado (g)</td> <td>132,6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Peso Suelo (g)	1033					Peso Suelo Lavado (g)	132,6																																																																
Peso Suelo (g)	1033																																																																												
Peso Suelo Lavado (g)	132,6																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz No</th> <th>Abertura (mm)</th> <th>Peso Retenido (g)</th> <th>% Retenido</th> <th>% Retenido Acumulado</th> <th>% Que pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1/2"</td> <td>12,7</td> <td>2,4</td> <td>0,23</td> <td>0,23</td> <td>99,77</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>9,52</td> <td>11,4</td> <td>1,10</td> <td>1,34</td> <td>98,66</td> </tr> <tr> <td>No 4</td> <td>4,75</td> <td>33,8</td> <td>3,27</td> <td>4,61</td> <td>95,39</td> </tr> <tr> <td>No 10</td> <td>2,00</td> <td>17,7</td> <td>1,71</td> <td>6,32</td> <td>93,68</td> </tr> <tr> <td>No 20</td> <td>0,84</td> <td>10</td> <td>0,97</td> <td>7,29</td> <td>92,71</td> </tr> <tr> <td>No 40</td> <td>0,42</td> <td>18,4</td> <td>1,78</td> <td>9,07</td> <td>90,93</td> </tr> <tr> <td>No 60</td> <td>0,25</td> <td>13,7</td> <td>1,33</td> <td>10,40</td> <td>89,60</td> </tr> <tr> <td>No 100</td> <td>0,149</td> <td>13</td> <td>1,26</td> <td>11,66</td> <td>88,34</td> </tr> <tr> <td>No 200</td> <td>0,074</td> <td>11</td> <td>1,06</td> <td>12,72</td> <td>87,28</td> </tr> <tr> <td>Pasa 200</td> <td></td> <td>901,6</td> <td>87,28</td> <td>100,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Total</td> <td>1033</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Tamiz No	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	1/2"	12,7	2,4	0,23	0,23	99,77	3/8"	9,52	11,4	1,10	1,34	98,66	No 4	4,75	33,8	3,27	4,61	95,39	No 10	2,00	17,7	1,71	6,32	93,68	No 20	0,84	10	0,97	7,29	92,71	No 40	0,42	18,4	1,78	9,07	90,93	No 60	0,25	13,7	1,33	10,40	89,60	No 100	0,149	13	1,26	11,66	88,34	No 200	0,074	11	1,06	12,72	87,28	Pasa 200		901,6	87,28	100,00	0,00	Total		1033			
Tamiz No	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa																																																																								
1/2"	12,7	2,4	0,23	0,23	99,77																																																																								
3/8"	9,52	11,4	1,10	1,34	98,66																																																																								
No 4	4,75	33,8	3,27	4,61	95,39																																																																								
No 10	2,00	17,7	1,71	6,32	93,68																																																																								
No 20	0,84	10	0,97	7,29	92,71																																																																								
No 40	0,42	18,4	1,78	9,07	90,93																																																																								
No 60	0,25	13,7	1,33	10,40	89,60																																																																								
No 100	0,149	13	1,26	11,66	88,34																																																																								
No 200	0,074	11	1,06	12,72	87,28																																																																								
Pasa 200		901,6	87,28	100,00	0,00																																																																								
Total		1033																																																																											
<div style="text-align: center;"> <p>Curva Granulometrica No.1</p>  </div>																																																																													



**ENSAYO GRANULOMETRIA POR TAMIZADO CON LAVADO
POR EL TAMIZ NO 200**

INV E - 123 -13

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Autores

Ricardo Andres Silva Hernandez

Jhoan Sebastian Navas Poveda

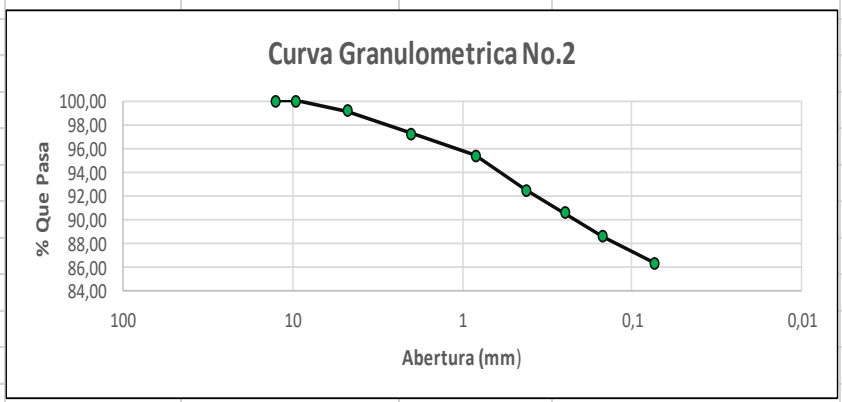
Ensayo No. 2


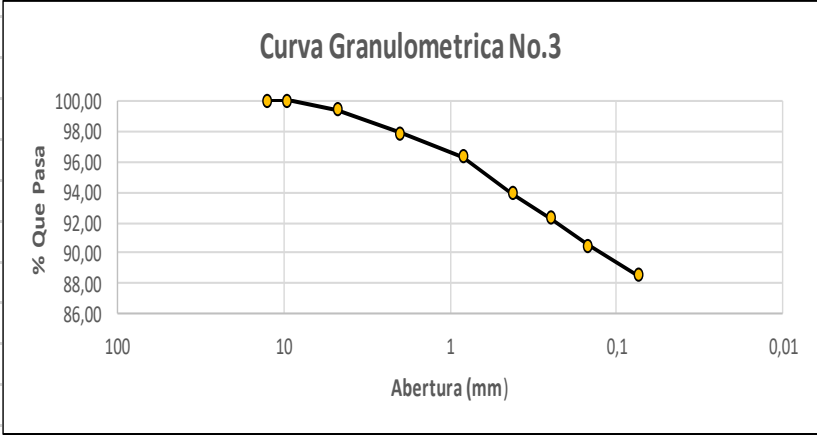
Fecha


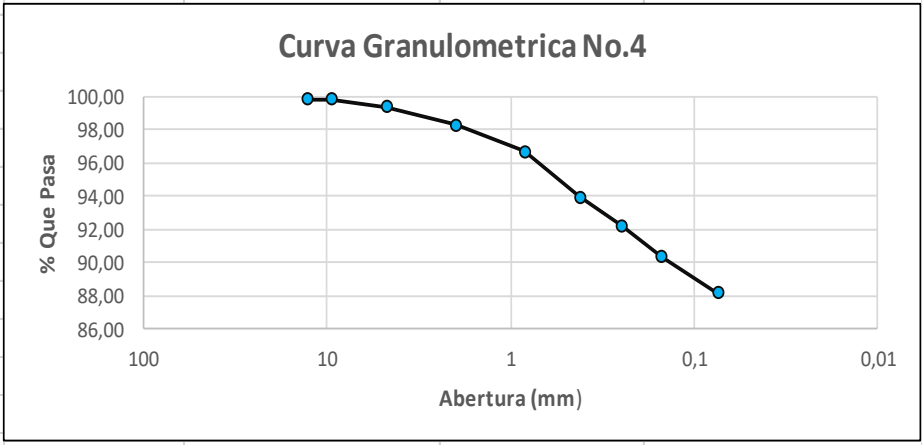
15 de Mayo 2019


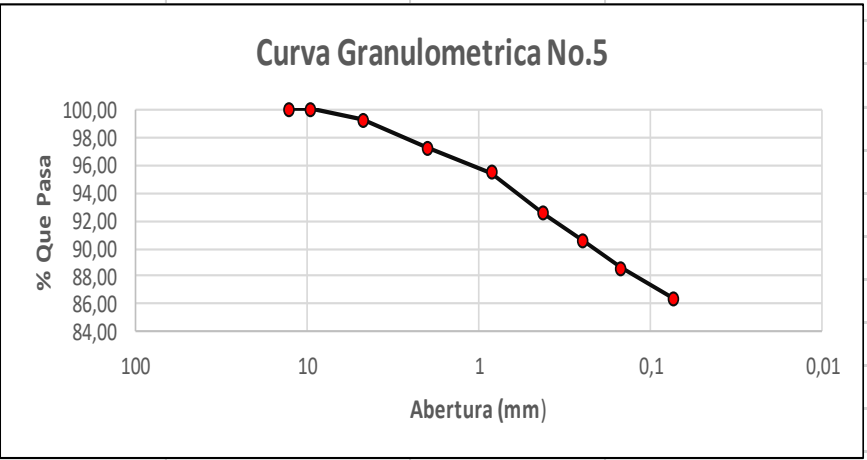
Peso Suelo (g)	1095
Peso Suelo Lavado (g)	149,6

Tamiz No	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa
1/2"	12,7	0	0	0	100
3/8"	9,52	0	0	0	100
No 4	4,75	8,5	0,78	0,78	99,22
No 10	2,00	21,8	1,99	2,77	97,23
No 20	0,84	19,6	1,79	4,56	95,44
No 40	0,42	32,2	2,94	7,50	92,50
No 60	0,25	21	1,92	9,42	90,58
No 100	0,149	21,7	1,98	11,40	88,60
No 200	0,074	24,1	2,20	13,60	86,40
Pasa 200		946,1	86,40	100,00	0,00
Total		1095			


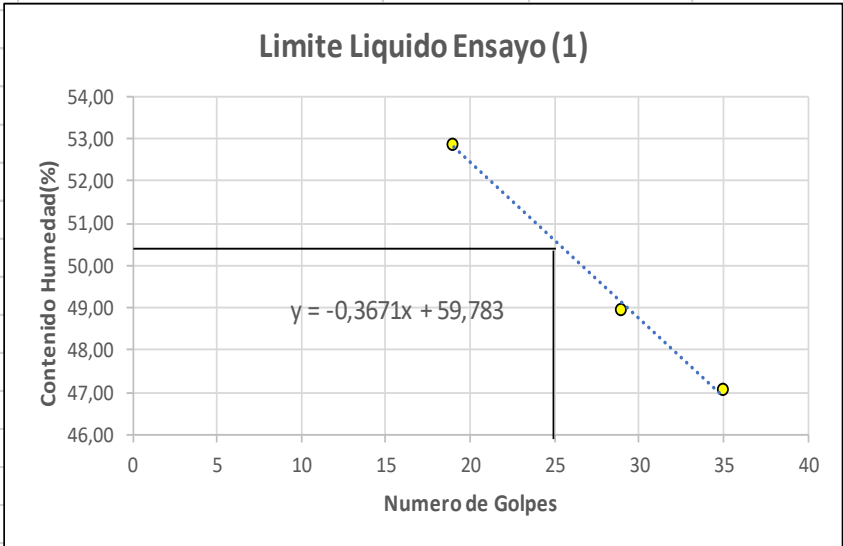



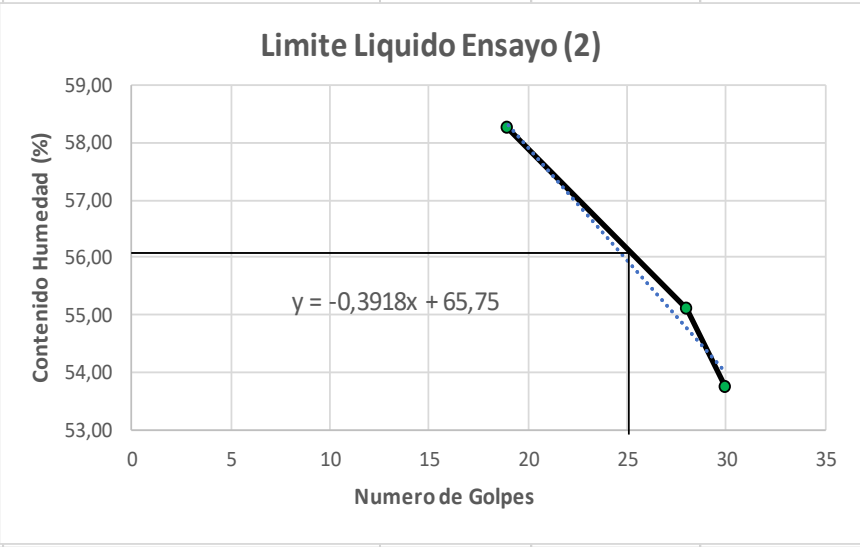
	ENSAYO GRANULOMETRIA POR TAMIZADO CON LAVADO POR EL TAMIZ NO 200		INV E - 123 -13																						
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores		Ricardo Andres Silva Hernandez																				
	Ensayo No. 3		Fecha		15 de Mayo 2019																				
Peso Suelo (g)		1171																							
Peso Suelo Lavado (g)		134,8																							
Tamiz No	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa																				
1/2"	12,7	0	0	0	100																				
3/8"	9,52	0	0	0	100																				
No 4	4,75	6,9	0,59	0,59	99,41																				
No 10	2,00	18,2	1,55	2,14	97,86																				
No 20	0,84	17,5	1,49	3,64	96,36																				
No 40	0,42	28,3	2,42	6,05	93,95																				
No 60	0,25	19,5	1,67	7,72	92,28																				
No 100	0,149	20,8	1,78	9,50	90,50																				
No 200	0,074	22,7	1,94	11,43	88,57																				
Pasa 200		1037,1	88,57	100	0,00																				
Total		1171																							
<div style="text-align: center;"> Curva Granulometrica No.3 </div>  <table border="1"> <caption>Data points for Curva Granulometrica No.3</caption> <thead> <tr> <th>Abertura (mm)</th> <th>% Que Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>100,00</td></tr> <tr><td>10</td><td>100,00</td></tr> <tr><td>4,75</td><td>99,41</td></tr> <tr><td>2,00</td><td>97,86</td></tr> <tr><td>0,84</td><td>96,36</td></tr> <tr><td>0,42</td><td>93,95</td></tr> <tr><td>0,25</td><td>92,28</td></tr> <tr><td>0,149</td><td>90,50</td></tr> <tr><td>0,074</td><td>88,57</td></tr> </tbody> </table>						Abertura (mm)	% Que Pasa	100	100,00	10	100,00	4,75	99,41	2,00	97,86	0,84	96,36	0,42	93,95	0,25	92,28	0,149	90,50	0,074	88,57
Abertura (mm)	% Que Pasa																								
100	100,00																								
10	100,00																								
4,75	99,41																								
2,00	97,86																								
0,84	96,36																								
0,42	93,95																								
0,25	92,28																								
0,149	90,50																								
0,074	88,57																								


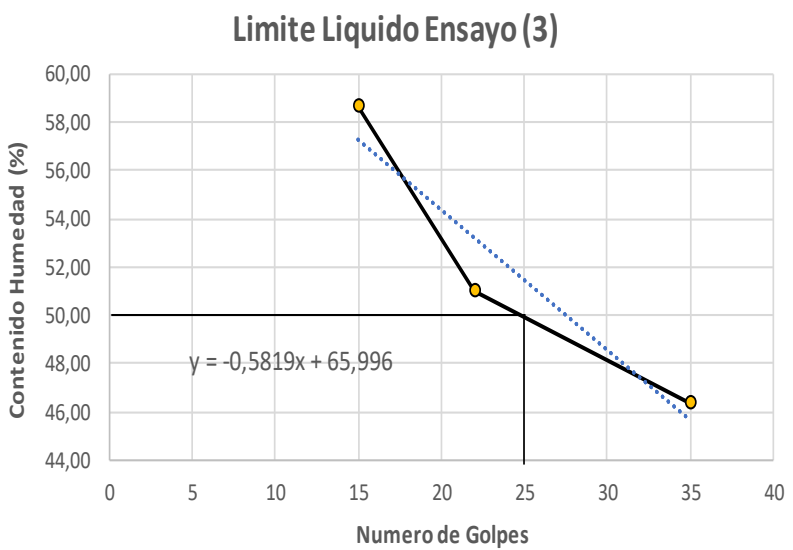
 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO GRANULOMETRIA POR TAMIZADO CON LAVADO POR EL TAMIZ NO 200		INV E - 123 -13		
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores		Ricardo Andres Silva Hernandez
	Ensayo No. 4		Fecha		15 de Mayo 2019
Peso Suelo (g)		1084			
Peso Suelo Lavado (g)		129,3			
Tamiz No	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa
1/2"	12,7	1,4	0,13	0,13	99,87
3/8"	9,52	0	0,00	0,13	99,87
No 4	4,75	5,2	0,48	0,61	99,39
No 10	2,00	11,6	1,07	1,68	98,32
No 20	0,84	17,8	1,64	3,32	96,68
No 40	0,42	29,4	2,71	6,03	93,97
No 60	0,25	18,7	1,73	7,76	92,24
No 100	0,149	20,5	1,89	9,65	90,35
No 200	0,074	23,4	2,16	11,81	88,19
Pasa 200		956	88,19	100,00	0,00
Total		1084			
<p>Curva Granulometrica No.4</p> 					


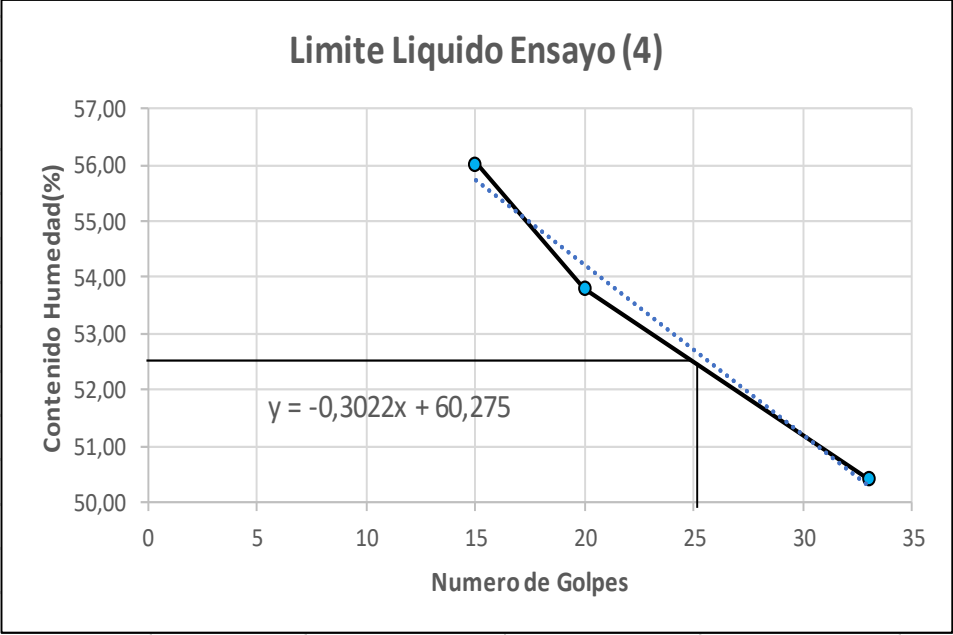
 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO GRANULOMETRIA POR TAMIZADO CON LAVADO POR EL TAMIZ NO 200		INV E - 123 -13		
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez		
			Jhoan Sebastian Navas Poveda		
Ensayo No. 5		Fecha	15 de Mayo 2019		
Peso Suelo (g)	1076				
Peso Suelo Lavado (g)	152,7				
Tamiz No	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa
1/2"	12,7	0	0	0	100
3/8"	9,52	7,6	0,71	0,71	99,29
No 4	4,75	23,8	2,21	2,92	97,08
No 10	2	27,2	2,53	5,45	94,55
No 20	0,84	17,3	1,61	7,05	92,95
No 40	0,42	26,6	2,47	9,53	90,47
No 60	0,25	16,8	1,56	11,09	88,91
No 100	0,149	17,9	1,66	12,75	87,25
No 200	0,074	14,6	1,36	14,11	85,89
Pasa 200		924,2	85,89	100	0,00
Total		1076			
					


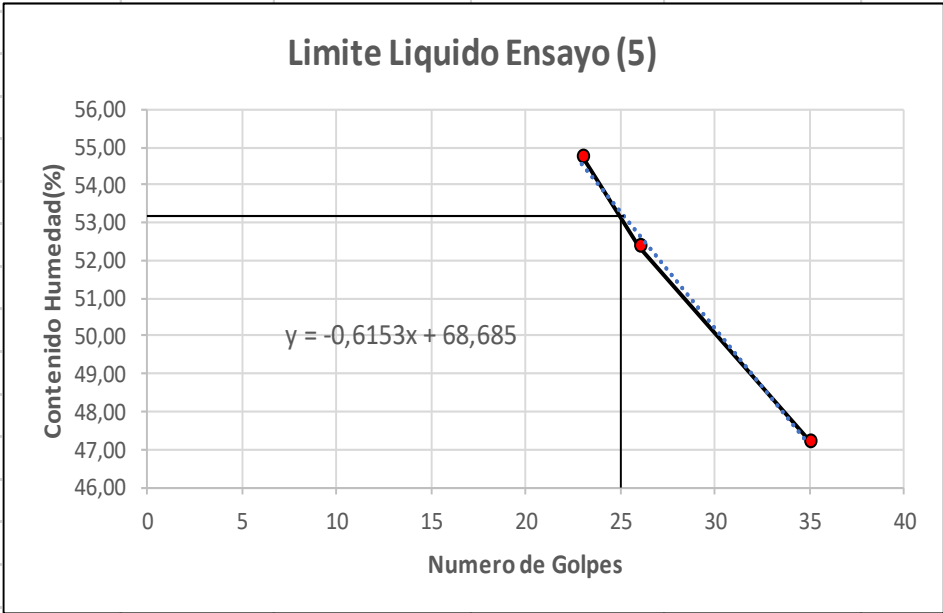
13.3 ANEXO LIMITE LÍQUIDO

	ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO		INV E - 125 -13	
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Navas Poveda	
	Ensayo No. 1	Fecha	22 de Mayo 2019	
No Capsula				
		17	58	59
Nro de Golpes				
		19	29	35
Peso Capsula (g)				
		21,1	21,35	21,33
Peso Capsula + Suelo humedo (g)				
		36,52	33,49	30,3
Peso Capsula + Suelo seco (g)				
		31,19	29,50	27,43
Peso del agua				
		5,33	3,99	2,87
Peso Suelo seco (g)				
		10,1	8,2	6,1
Contenido Humedad (%)				
		52,88	48,96	47,05
Limite Liquido		50,61		
				


 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO		INV E - 125 -13	
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores	
	Ensayo No. 2		Fecha	
				Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Navas Poveda
				22 de Mayo 2019
No Capsula	100	29	5	
Nro de Golpes	30	28	19	
Peso Capsula (g)	26,94	21,02	40,61	
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	37,87	36,5	58,84	
Peso Capsula + Suelo seco (g)	34,05	31,00	52,13	
Peso del agua	3,82	5,5	6,71	
Peso Suelo seco (g)	7,1	10,0	11,5	
Contenido Humedad (%)	53,73	55,11	58,25	
Limite Liquido				55,96
				


	ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO		INV E - 125 -13
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Navas Poveda
	Ensayo No. 3	Fecha	22 de Mayo 2019
No Capsula	16	18	4
Nro de Golpes	15	22	35
Peso Capsula (g)	19,38	24,25	18,52
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	31,82	36,68	32,5
Peso Capsula + Suelo seco (g)	27,22	32,48	28,07
Peso del agua	4,6	4,2	4,43
Peso Suelo seco (g)	7,8	8,2	9,6
Contenido Humedad (%)	58,67	51,03	46,39
Limite Liquido	51,45		
			


 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO		INV E - 125 -13	
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Navas Poveda	
	Ensayo No. 4	Fecha	22 de Mayo 2019	
No Capsula	23	15	7	
Nro de Golpes	33	20	15	
Peso Capsula (g)	19,91	24,29	23,30	
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	32,5	37,21	35,69	
Peso Capsula + Suelo seco (g)	28,28	32,69	31,24	
Peso del agua	4,22	4,52	4,45	
Peso Suelo seco (g)	8,4	8,4	7,9	
Contenido Humedad (%)	50,42	53,81	56,05	
Limite Liquido	52,72			
				


	ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO		INV E - 125 -13	
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Navas Poveda	
	Ensayo No. 5	Fecha	22 de Mayo 2019	
No Capsula				
		2	20	24
Nro de Golpes				
		35	26	23
Peso Capsula (g)				
		18,40	18,10	18,50
Peso Capsula + Suelo humedo (g)				
		31,4	34,1	31,5
Peso Capsula + Suelo seco (g)				
		27,23	28,60	26,9
Peso del agua				
		4,17	5,5	4,6
Peso Suelo seco (g)				
		8,8	10,5	8,4
Contenido Humedad (%)				
		47,23	52,38	54,76
Limite Liquido		53,30		
				


13.4 ANEXO LIMITE PLASTICO

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE LIMITE PLASTICO		INV E - 126 -13
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Navas Poveda
	Ensayo No. 1	Fecha	22 de Mayo 2019
No. Capsula	24	126	
Peso Capsula (g)	6,80	6,90	
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	11,73	13,56	
Peso Capsula + Suelo seco (g)	10,80	12,50	
Peso del agua	0,93	1,06	
Peso Suelo seco (g)	4,00	5,60	
Contenido Humedad (%)	23,25	18,93	
Limite Plastico	21,09		

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE LIMITE PLASTICO		INV E - 126 -13
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Navas Poveda
	Ensayo No. 2	Fecha	22 de Mayo 2019
No Capsula	50	181	
Peso Capsula (g)	6,90	6,40	
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	13,93	10,54	
Peso Capsula + Suelo seco (g)	12,70	9,80	
Peso del agua	1,23	0,74	
Peso Suelo seco (g)	5,80	3,40	
Contenido Humedad (%)	21,21	21,76	
Limite Plastico	21,49		


 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE LIMITE PLASTICO		INV E - 126 -13
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Navas Poveda
	Ensayo No. 3	Fecha	22 de Mayo 2019
No Capsula	93	115	
Peso Capsula (g)	8,71	6,90	
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	13,52	12,13	
Peso Capsula + Suelo seco (g)	12,6	11,30	
Peso del agua	0,92	0,83	
Peso Suelo seco (g)	3,89	4,40	
Contenido Humedad (%)	23,65	18,86	
Limite Plastico	21,26		


 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE LIMITE PLASTICO		INV E - 126 -13
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Navas Poveda
	Ensayo No. 4	Fecha	22 de Mayo 2019
No. Capsula	137	888	
Peso Capsula (g)	8,40	6,80	
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	12,39	11,55	
Peso Capsula + Suelo seco (g)	11,70	10,70	
Peso del agua	0,69	0,85	
Peso Suelo seco (g)	3,30	3,90	
Contenido Humedad (%)	20,91	21,79	
Limite Plastico	21,35		


 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE LIMITE PLASTICO		INV E - 126 -13
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Navas Poveda
	Ensayo No. 5	Fecha	22 de Mayo 2019
No Capsula	170		139
Peso Capsula (g)	7,00		8,60
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	12,02		14,89
Peso Capsula + Suelo seco (g)	11,10		13,80
Peso del agua	0,92		1,09
Peso Suelo seco (g)	4,10		5,20
Contenido Humedad (%)	22,44		20,96
Limite Plastico	21,70		


13.5 ANEXO LIMITE DE CONTRACCION

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO LIMITE DE CONTRACCION		INV E - 127 -13
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Navas Poveda
	Ensayo No. 1	Fecha	19 de Junio 2019
Capsula No	8		3
Peso Capsula	19,86		21,05
Peso Capsula + Vaselina	20,15		21,27
Peso Capsula + Suelo Humedo	44,91		48,8
Peso Suelo Humedo	24,76		27,53
Peso Capsula + Suelo Seco	37,4		40,7
Peso Suelo Seco	17,25		19,43
Contenido de Humedad (%)	43,54%		41,69%
Peso Capsula + mercurio	220,29		222,30
Peso Mercurio	200,14		201,03
Densidad Mercurio	13,55		13,55
Volumen del Suelo Humedo	14,77		14,84
Peso Mercurio Desplazado	124,68		122,51
Volumen del Suelo Seco	9,20		9,04
Limite de Contraccion (LC)	11,26		11,87
Relacion de contraccion (R)	1,87		2,15
Cambio Volumetrico (CV)	72,63		81,95
Contraccion Lineal (CL)	16,64		18,09


 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO LIMITE DE CONTRACCION		INVE - 127 -13
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez
			Jhoan Sebastian Navas Poveda
Ensayo No. 2	Fecha	19 de Junio 2019	
Capsula No			
	61	6	
Peso Capsula			
	27,64	27,97	
Peso Capsula + Vaselina			
	27,83	28,08	
Peso Capsula + Suelo Humedo			
	51,8	52,42	
Peso Suelo Humedo			
	23,97	24,34	
Peso Capsula + Suelo Seco			
	44,6	45,1	
Peso Suelo Seco			
	16,77	17,02	
Contenido de Humedad (%)			
	42,93%	43,01%	
Peso Capsula + mercurio			
	225,50	216,86	
Peso Mercurio			
	197,67	188,78	
Densidad Mercurio			
	13,55	13,55	
Volumen del Suelo Humedo			
	14,59	13,93	
Peso Mercurio Desplazado			
	125,49	116,47	
Volumen del Suelo Seco			
	9,26	8,60	
Limite de Contraccion (LC)			
	11,17	11,66	
Relacion de contraccion (R)			
	1,81	1,98	
Cambio Volumetrico (CV)			
	70,32	75,93	
Contraccion Lineal (CL)			
	16,26	17,16	

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO LIMITE DE CONTRACCION		INVE - 127 -13
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez
	Ensayo No. 3	Fecha	Jhoan Sebastian Navas Poveda
			19 de Junio 2019
Capsula No		1	12
Peso Capsula		31,92	23,52
Peso Capsula + Vaselina		32,08	23,71
Peso Capsula + Suelo Humedo		55,78	60,87
Peso Suelo Humedo		23,7	37,16
Peso Capsula + Suelo Seco		48,9	49,7
Peso Suelo Seco		16,82	25,99
Contenido de Humedad (%)		40,90%	42,98%
Peso Capsula + mercurio		214,99	314,10
Peso Mercurio		182,91	290,39
Densidad Mercurio		13,55	13,55
Volumen del Suelo Humedo		13,50	21,43
Peso Mercurio Desplazado		116,64	178,27
Volumen del Suelo Seco		8,61	13,16
Limite de Contraccion (LC)		11,82	11,14
Relacion de contraccion (R)		1,95	1,98
Cambio Volumetrico (CV)		74,60	76,76
Contraccion Lineal (CL)		16,95	17,29

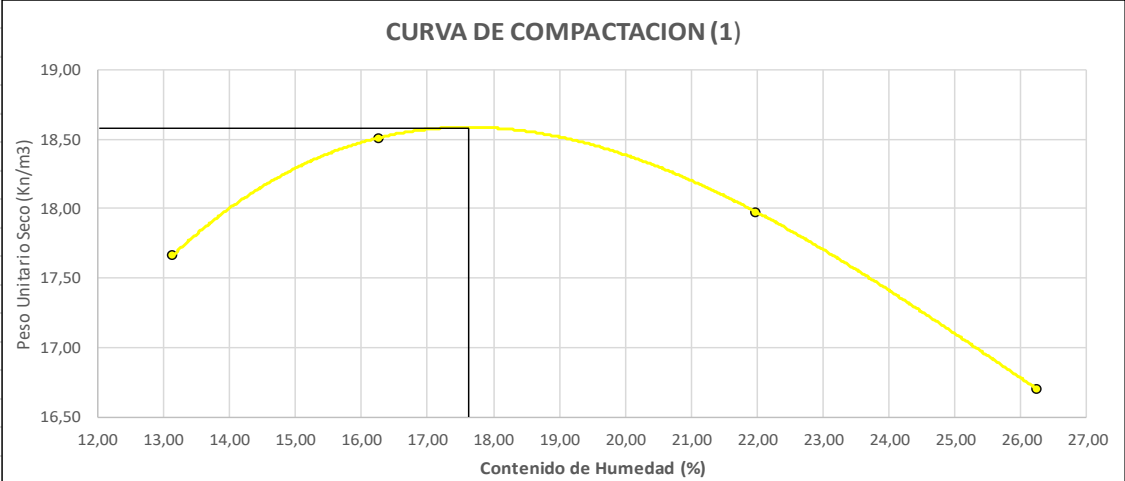
 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO LIMITE DE CONTRACCION		INV E - 127 -13
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez
		Jhoan Sebastian Navas Poveda	
Ensayo No. 4	Fecha	19 de Junio 2019	
Capsula No	0	10	
Peso Capsula	29,58	22,27	
Peso Capsula + Vaselina	29,65	22,39	
Peso Capsula + Suelo Humedo	53,10	57,40	
Peso Suelo Humedo	23,45	35,01	
Peso Capsula + Suelo Seco	46,00	46,90	
Peso Suelo Seco	16,35	24,51	
Contenido de Humedad (%)	43,43%	42,84%	
Peso Capsula + mercurio	215,29	278,30	
Peso Mercurio	185,64	255,91	
Densidad Mercurio	13,55	13,55	
Volumen del Suelo Humedo	13,70	18,89	
Peso Mercurio Desplazado	114,53	151,52	
Volumen del Suelo Seco	8,45	11,18	
Limite de Contraccion (LC)	11,33	11,41	
Relacion de contraccion (R)	1,93	2,19	
Cambio Volumetrico (CV)	74,80	84,59	
Contraccion Lineal (CL)	16,99	18,48	

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO LIMITE DE CONTRACCION		INV E - 127 -13
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez
		Jhoan Sebastian Navas Poveda	
Ensayo No. 5	Fecha	19 de Junio 2019	
Capsula No	25	5	
Peso Capsula	25,33	24,50	
Peso Capsula + Vaselina	26,10	25,2	
Peso Capsula + Suelo Humedo	51,54	52,33	
Peso Suelo Humedo	25,44	27,13	
Peso Capsula + Suelo Seco	43,8	44,3	
Peso Suelo Seco	17,7	19,1	
Contenido de Humedad (%)	43,73%	42,04%	
Peso Capsula + mercurio	227,29	223,30	
Peso Mercurio	201,19	198,10	
Densidad Mercurio	13,55	13,55	
Volumen del Suelo Humedo	14,85	14,62	
Peso Mercurio Desplazado	124,78	118,90	
Volumen del Suelo Seco	9,21	8,77	
Limite de Contraccion (LC)	11,87	11,44	
Relacion de contraccion (R)	1,92	2,18	
Cambio Volumetrico (CV)	73,29	83,94	
Contraccion Lineal (CL)	16,76	18,38	


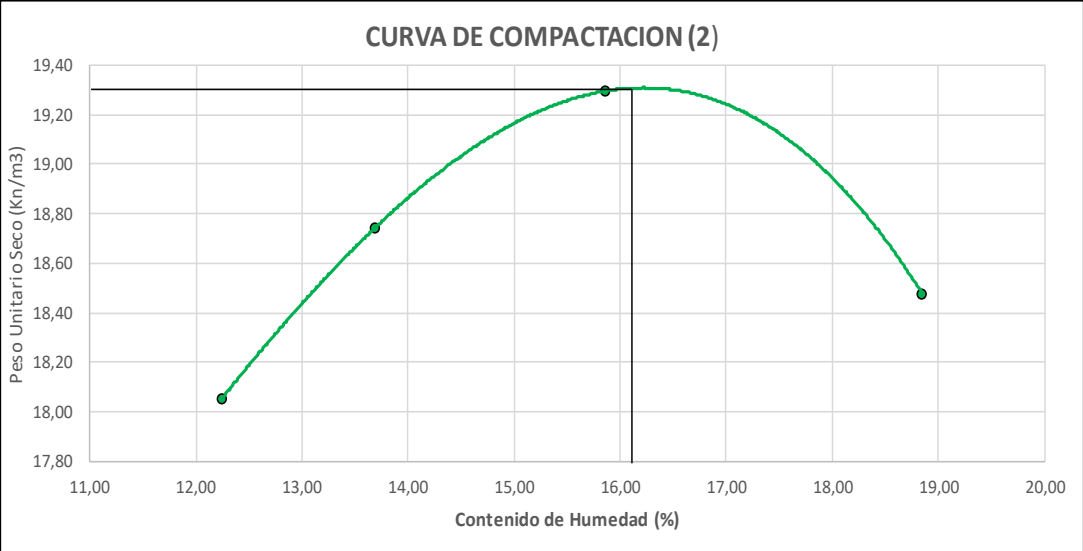
13.6 ANEXO PROCTOR


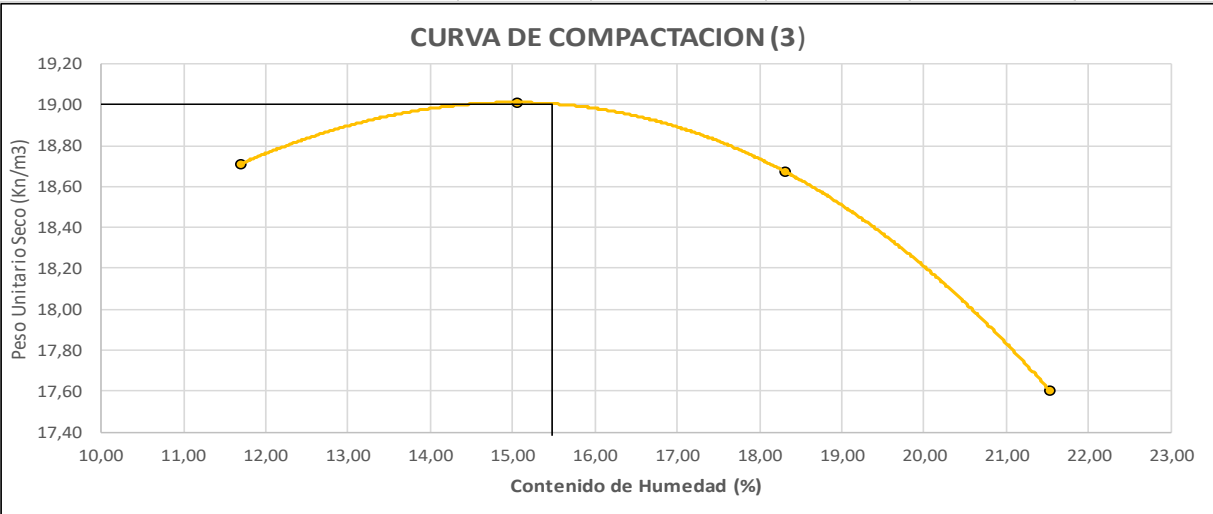
 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO		INV E - 142 -13	
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores		Ricardo Andres Silva Hernandez
	Ensayo No. 1	Fecha	19 de Junio 2019	
Volumen Molde (cm3)	895,35			
Peso Muestra (g)	4020			
Prueba No	1	2	3	4
Peso Molde (g)	3685			
Peso Molde + Suelo Compactado (g)	5510	5650	5687	5610
Peso Suelo Compactado (g)	1825	1965	2002	1925
No Capsula	50	99	10	60
Peso Capsula (g)	6,91	8,81	22,27	6,53
Peso Capsula + Suelo Humedo Compactado (g)	98,58	55,58	48,25	75,25
Peso Capsula + Suelo Seco Compactado (g)	90,90	50,47	44,29	62,75
Peso del agua (g)	7,68	5,11	3,96	12,5
Peso del Suelo Seco (g)	83,99	41,66	22,02	56,22
Contenido de Humedad (%)	13,14	16,27	21,98	26,23
Densidad Suelo Humedo (g/cm3)	2,04	2,19	2,24	2,15
Densidad Suelo Seco (g/cm3)	1,80	1,89	1,83	1,70
Peso unitario seco [KN/m3]	17,67	18,51	17,98	16,70


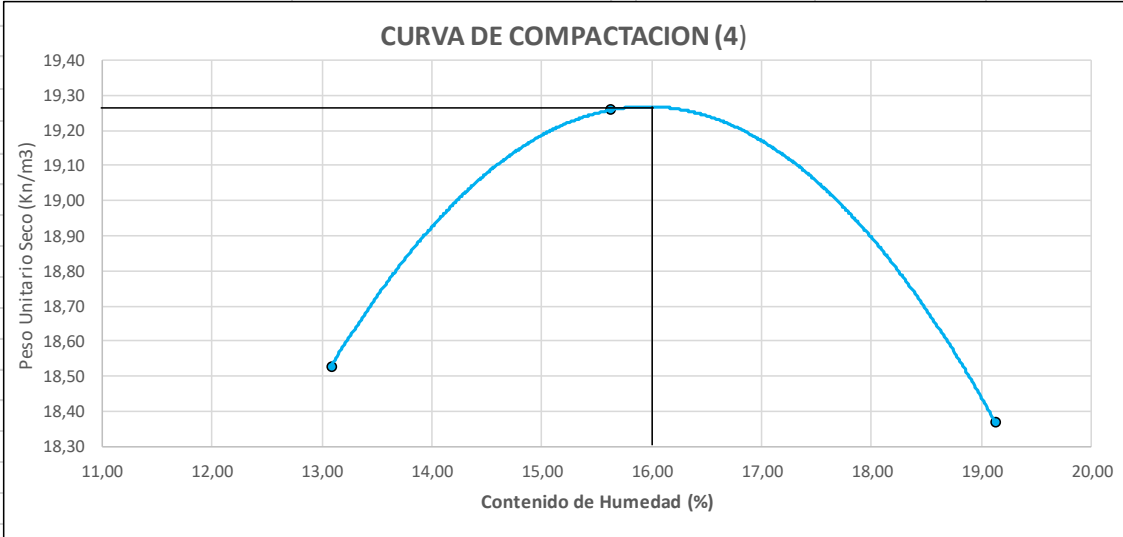
CURVA DE COMPACTACION (1)




Contenido de Humedad (%)	Peso Unitario Seco (KN/m3)
13,14	17,67
16,27	18,51
21,98	17,98
26,23	16,70

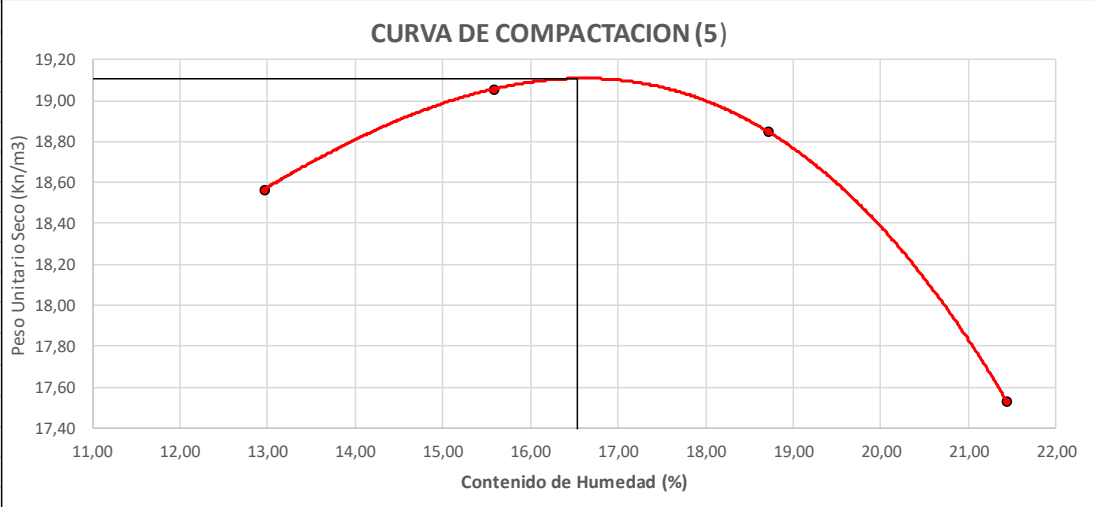
 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO		INV E - 142 -13		
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez		
	Ensayo No. 2	Fecha	19 de Junio 2019		
Volumen Molde (cm3)		895,35			
Peso Muestra (g)		3500			
Prueba No	1	2	3	4	
Peso Molde (g)		3771			
Peso Molde + Suelo Compactado (g)	5621	5716	5812	5776	
Peso Suelo Compactado (g)	1850	1945	2041	2005	
No Capsula	2	53	58	134	
Peso Capsula (g)	40,37	20,93	31,45	21,21	
Peso Capsula + Suelo Humedo Compactado (g)	116,43	79,91	78,09	66,87	
Peso Capsula + Suelo Seco Compactado (g)	110,16	74,2	72,56	60,09	
Peso del agua (g)	6,27	5,71	5,53	6,78	
Peso del Suelo Seco (g)	76,06	58,98	46,64	45,66	
Contenido de Humedad (%)	12,24	13,68	15,86	18,85	
Densidad Suelo Humedo (g/cm3)	2,07	2,17	2,28	2,24	
Densidad Suelo Seco (g/cm3)	1,84	1,91	1,97	1,88	
Peso unitario seco [KN/m3]	18,05	18,74	19,30	18,48	
					

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO		INV E - 142 -13	
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Navas Poveda	
	Ensayo No. 3	Fecha	19 de Junio 2019	
Volumen Molde (cm3)	895,35			
Peso Muestra (g)	3055			
Prueba No	1	2	3	4
Peso Molde (g)	3771			
Peso Molde + Suelo Compactado (g)	5679	5768	5788	5724
Peso Suelo Compactado (g)	1908	1997	2017	1953
No Capsula	48	49	2	21
Peso Capsula (g)	11,0	11,7	18,4	21,3
Peso Capsula + Suelo Humedo Compactado (g)	62,60	60	80,6	76,8
Peso Capsula + Suelo Seco Compactado (g)	58,63	54,66	71,7	67,07
Peso del agua (g)	3,97	5,34	8,9	9,73
Peso del Suelo Seco (g)	51,60	48,3	62,2	55,5
Contenido de Humedad (%)	11,69	15,06	18,31	21,53
Densidad Suelo Humedo (g/cm3)	2,13	2,23	2,25	2,18
Densidad Suelo Seco (g/cm3)	1,91	1,94	1,90	1,79
Peso unitario seco [KN/m3]	18,71	19,01	18,67	17,60
				

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO		INV E - 142 -13		
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez		
	Ensayo No. 4	Fecha	Jhoan Sebastian Navas Poveda		
			19 de Junio 2019		
Volumen Molde (cm3)			895,35		
Peso Muestra (g)			3426		
Prueba No			1	2	3
Peso Molde (g)			3771		
Peso Molde + Suelo Compactado (g)			5684	5804	5769
Peso Suelo Compactado (g)			1913	2033	1998
No Capsula			47	61	7
Peso Capsula (g)			10,99	21,7	18,13
Peso Capsula + Suelo Humedo Compactado (g)			49,75	57,92	61,97
Peso Capsula + Suelo Seco Compactado (g)			46,23	53,71	55,34
Peso del agua (g)			3,52	4,21	6,63
Peso del Suelo Seco (g)			38,76	36,22	43,84
Contenido de Humedad (%)			13,08	15,62	19,12
Densidad Suelo Humedo (g/cm3)			2,14	2,27	2,23
Densidad Suelo Seco (g/cm3)			1,89	1,96	1,87
Peso unitario seco [KN/m3]			18,53	19,26	18,37
					


 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO		INV E - 142 -13	
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores		Ricardo Andres Silva Hernandez
	Ensayo No. 5	Fecha	Jhoan Sebastian Navas Poveda	
				19 de Junio 2019
Volumen Molde (cm3)	895,35			
Peso Muestra (g)	3493			
Prueba No	1	2	3	4
Peso Molde (g)	3791			
Peso Molde + Suelo Compactado (g)	5706	5802	5834	5735
Peso Suelo Compactado (g)	1915	2011	2043	1944
No Capsula	46	2	11	32
Peso Capsula (g)	10,7	18,45	17,91	21,28
Peso Capsula + Suelo Humedo Compactado (g)	44,18	58,86	71,23	56,55
Peso Capsula + Suelo Seco Compactado (g)	41,18	54,18	63,39	50,4
Peso del agua (g)	3,00	4,68	7,84	6,15
Peso del Suelo Seco (g)	33,47	40,41	53,32	35,27
Contenido de Humedad (%)	12,96	15,58	18,70	21,44
Densidad Suelo Humedo (g/cm3)	2,14	2,25	2,28	2,17
Densidad Suelo Seco (g/cm3)	1,89	1,94	1,92	1,79
Peso unitario seco [KN/m3]	18,57	19,06	18,85	17,53

CURVA DE COMPACTACION (5)

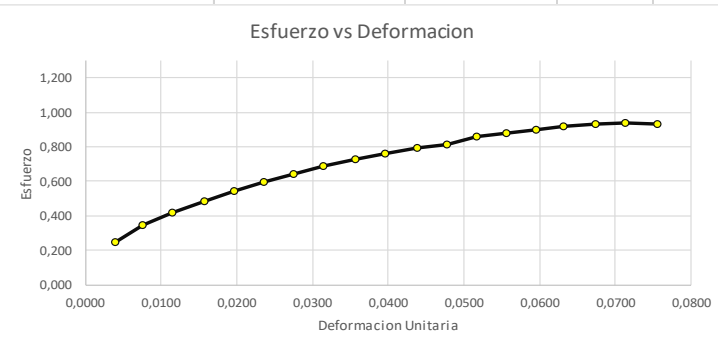



Contenido de Humedad (%)	Peso Unitario Seco (KN/m³)
12,96	18,57
15,58	19,06
18,70	18,85
21,44	17,53

13.7 ANEXO COMPRESION SIMPLE

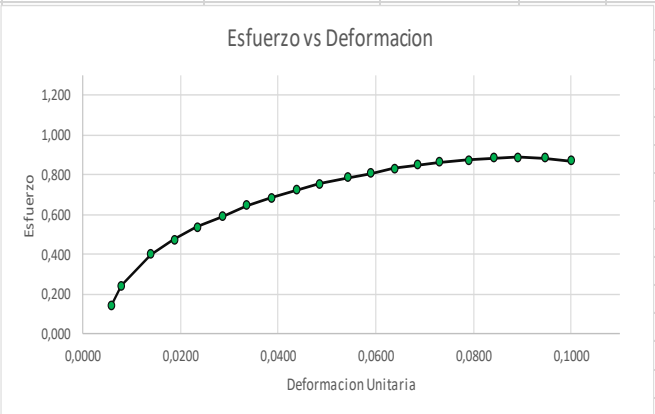
		ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA DE MUESTRAS DE SUELOS			INV E - 152 -13				
		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez				
		Ensayo No. 1		Fecha	Jhoan Sebastian Navas Poveda				
					19 de Junio 2019				
No Capsula	52	Diametro (cm)	3,5						
Peso Capsula (g)	10,48	Altura (cm)	8,4						
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	93,02	Area (cm2)	80,82						
Peso Capsula + Suelo seco (g)	81,62	Peso muestra (g)	138,87						
Peso del agua	11,40	Angulo de falla	15°						
Peso Suelo seco (g)	71,14								
Contenido Humedad (%)	16,02								
Tiempo (seg)	Lectura dial (cm)	Deformacion (cm)	Carga (Kg)	Deformacion Unitaria ϵ	1- ϵ	Area Corregida (cm2)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Resistencia al corte (kg/cm2)	
30	0,033	8,367	20,198	0,0039	0,9961	81,136	0,2489	0,1245	
60	0,064	8,337	27,950	0,0076	0,9924	81,433	0,3432	0,1716	
90	0,097	8,303	34,459	0,0115	0,9885	81,757	0,4215	0,2107	
120	0,132	8,268	39,957	0,0157	0,9843	82,109	0,4866	0,2433	
150	0,165	8,235	44,983	0,0197	0,9803	82,438	0,5457	0,2728	
180	0,198	8,202	49,437	0,0236	0,9764	82,770	0,5973	0,2986	
210	0,231	8,169	53,478	0,0275	0,9725	83,104	0,6435	0,3218	
240	0,264	8,136	57,297	0,0314	0,9686	83,442	0,6867	0,3433	
270	0,300	8,100	60,786	0,0357	0,9643	83,808	0,7253	0,3626	
300	0,333	8,067	64,083	0,0396	0,9604	84,151	0,7615	0,3808	
330	0,368	8,032	67,172	0,0438	0,9562	84,523	0,7947	0,3974	
360	0,401	7,999	69,068	0,0478	0,9522	84,872	0,8138	0,4069	
390	0,434	7,966	72,978	0,0517	0,9483	85,224	0,8563	0,4282	
420	0,467	7,933	75,169	0,0556	0,9444	85,579	0,8784	0,4392	
450	0,500	7,900	77,437	0,0596	0,9404	85,937	0,9011	0,4505	
480	0,531	7,869	79,319	0,0632	0,9368	86,269	0,9194	0,4597	
510	0,566	7,834	80,834	0,0674	0,9326	86,661	0,9328	0,4664	
540	0,599	7,801	81,782	0,0714	0,9286	87,028	0,9397	0,4699	
570	0,635	7,765	81,628	0,0756	0,9244	87,426	0,9337	0,4668	


Esfuerzo vs Deformacion



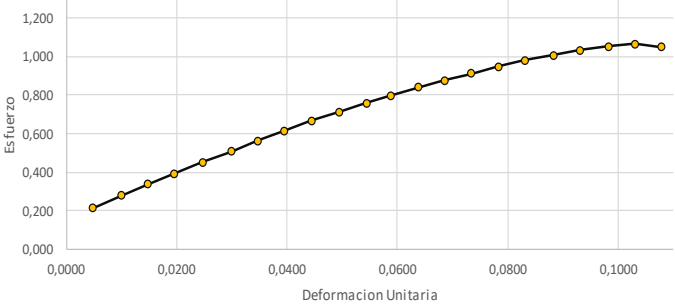
		ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA DE MUESTRAS DE SUELOS			INV E - 152 -13			
		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez			
		Ensayo No. 2		Fecha	Jhoan Sebastian Navas Poveda			
					19 de Junio 2019			
No Capsula	27	Diametro (cm)	3,5					
Peso Capsula (g)	18,04	Altura (cm)	7,5					
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	109,22	Area (cm2)	72,16					
Peso Capsula + Suelo seco (g)	96,16	Peso muestra (g)	155,72					
Peso del agua	13,06	Angulo de falla	21°					
Peso Suelo seco (g)	78,12							
Contenido Humedad (%)	16,72							
Tiempo (seg)	Lectura dial (cm)	Deformacion (cm)	Carga (Kg)	Deformacion Unitaria ϵ	1- ϵ	Area Corregida (cm2)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Resistencia al corte (kg/cm2)
30	0,0432	7,4568	10,3373	0,0058	0,9942	72,5763	0,1424	0,0712
60	0,0584	7,4416	17,4224	0,0078	0,9922	72,7249	0,2396	0,1198
90	0,1041	7,3959	29,1386	0,0139	0,9861	73,1745	0,3982	0,1991
120	0,1397	7,3603	34,6815	0,0186	0,9814	73,5280	0,4717	0,2358
150	0,1753	7,3247	39,6664	0,0234	0,9766	73,8850	0,5369	0,2684
180	0,2134	7,2866	43,7941	0,0284	0,9716	74,2713	0,5897	0,2948
210	0,2515	7,2485	47,9717	0,0335	0,9665	74,6617	0,6425	0,3213
240	0,2896	7,2104	51,3509	0,0386	0,9614	75,0562	0,6842	0,3421
270	0,3277	7,1723	54,3446	0,0437	0,9563	75,4549	0,7202	0,3601
300	0,3632	7,1368	57,1977	0,0484	0,9516	75,8309	0,7543	0,3771
330	0,4064	7,0936	59,7242	0,0542	0,9458	76,2925	0,7828	0,3914
360	0,4420	7,0580	61,7200	0,0589	0,9411	76,6769	0,8049	0,4025
390	0,4775	7,0225	63,8882	0,0637	0,9363	77,0651	0,8290	0,4145
420	0,5131	6,9869	65,7207	0,0684	0,9316	77,4574	0,8485	0,4242
450	0,5461	6,9539	67,1721	0,0728	0,9272	77,8252	0,8631	0,4316
480	0,5918	6,9082	68,4467	0,0789	0,9211	78,3402	0,8737	0,4369
510	0,6299	6,8701	69,4628	0,0840	0,9160	78,7747	0,8818	0,4409
540	0,6680	6,8320	70,1840	0,0891	0,9109	79,2140	0,8860	0,4430
570	0,7087	6,7913	70,4516	0,0945	0,9055	79,6880	0,8841	0,4420
600	0,7493	6,7507	69,7304	0,0999	0,9001	80,1677	0,8698	0,4349

Esfuerzo vs Deformacion



		ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA DE MUESTRAS DE SUELOS		INV E - 152 -13						
		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores		Ricardo Andres Silva Hernandez				
		Ensayo No. 3		Fecha		Jhoan Sebastian Navas Poveda				
				19 de Junio 2019						
No Capsula	47	Diametro (cm)	3,5							
Peso Capsula (g)	12,95	Altura (cm)	8,4							
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	116,98	Area (cm2)	80,82							
Peso Capsula + Suelo seco (g)	103,17	Peso muestra (g)	171,40							
Peso del agua	13,81	Angulo de falla	35°							
Peso Suelo seco (g)	90,22									
Contenido Humedad (%)	15,31									
Tiempo (seg)	Lectura dial (cm)	Deformacion (cm)	Carga (Kg)	Deformacion Unitaria ϵ	1- ϵ	Area Corregida (cm2)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Resistencia al corte (kg/cm2)		
30	0,041	8,359	17,291	0,0048	0,9952	81,210	0,2129	0,1065		
60	0,084	8,316	22,811	0,0100	0,9900	81,632	0,2794	0,1397		
90	0,124	8,276	27,655	0,0148	0,9852	82,033	0,3371	0,1686		
120	0,165	8,235	32,504	0,0197	0,9803	82,438	0,3943	0,1971		
150	0,208	8,192	37,503	0,0248	0,9752	82,872	0,4525	0,2263		
180	0,251	8,149	42,402	0,0299	0,9701	83,311	0,5090	0,2545		
210	0,292	8,108	47,201	0,0348	0,9652	83,729	0,5637	0,2819		
240	0,333	8,067	51,882	0,0396	0,9604	84,151	0,6165	0,3083		
270	0,373	8,027	56,340	0,0444	0,9556	84,577	0,6661	0,3331		
300	0,417	7,983	60,713	0,0496	0,9504	85,034	0,7140	0,3570		
330	0,457	7,943	64,968	0,0544	0,9456	85,469	0,7601	0,3801		
360	0,495	7,905	68,569	0,0590	0,9410	85,881	0,7984	0,3992		
390	0,536	7,864	72,470	0,0638	0,9362	86,325	0,8395	0,4198		
420	0,577	7,823	76,135	0,0686	0,9314	86,774	0,8774	0,4387		
450	0,617	7,783	79,741	0,0735	0,9265	87,227	0,9142	0,4571		
480	0,658	7,742	83,175	0,0783	0,9217	87,685	0,9486	0,4743		
510	0,699	7,702	86,404	0,0832	0,9168	88,147	0,9802	0,4901		
540	0,742	7,658	89,362	0,0883	0,9117	88,644	1,0081	0,5040		
570	0,782	7,618	92,033	0,0931	0,9069	89,117	1,0327	0,5164		
600	0,826	7,575	94,256	0,0983	0,9017	89,625	1,0517	0,5258		
630	0,866	7,534	95,993	0,1031	0,8969	90,109	1,0653	0,5327		
660	0,907	7,493	95,186	0,1080	0,8921	90,597	1,0506	0,5253		

Esfuerzo vs Deformacion





Universidad
Pontificia
Bolivariana

ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA DE MUESTRAS DE SUELOS

INV E - 152 -13

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Autores

Ricardo Andres Silva Hernandez

Jhoan Sebastian Navas Poveda

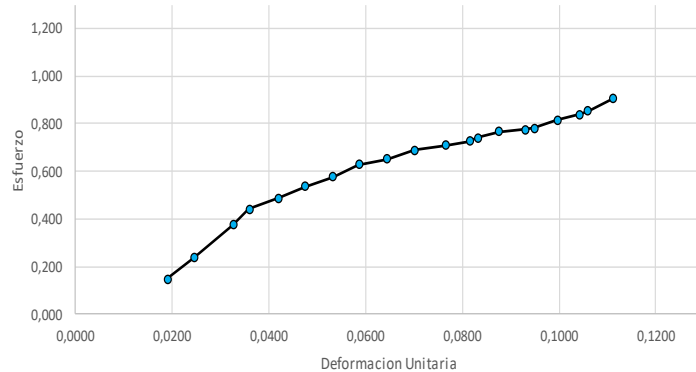
Ensayo No. 4


Fecha

19 de Junio 2019

No Capsula	51	Diametro (cm)	3,5					
Peso Capsula (g)	13,01	Altura (cm)	8,3					
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	64,58	Area (cm2)	79,86					
Peso Capsula + Suelo seco (g)	57,66	Peso muestra (g)	162,64					
Peso del agua	6,92	Angulo de falla	25°					
Peso Suelo seco (g)	44,65							
Contenido Humedad (%)	15,50							
Tiempo (seg)	Lectura dial (cm)	Deformacion (cm)	Carga (Kg)	Deformacion Unitaria ϵ	1- ϵ	Area Corregida (cm2)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Resistencia al corte (kg/cm2)
30	0,160	8,240	12,123	0,0190	0,9810	82,384	0,1472	0,0736
60	0,205	8,195	19,678	0,0245	0,9755	82,843	0,2375	0,1188
90	0,274	8,126	31,232	0,0326	0,9674	83,539	0,3739	0,1869
120	0,302	8,098	36,892	0,0359	0,9641	83,831	0,4401	0,2200
150	0,353	8,047	41,123	0,0420	0,9580	84,360	0,4875	0,2437
180	0,398	8,002	45,412	0,0474	0,9526	84,842	0,5353	0,2676
210	0,447	7,953	49,187	0,0532	0,9468	85,357	0,5762	0,2881
240	0,492	7,908	53,822	0,0586	0,9414	85,850	0,6269	0,3135
270	0,541	7,859	56,231	0,0644	0,9356	86,378	0,6510	0,3255
300	0,589	7,811	59,823	0,0701	0,9299	86,911	0,6883	0,3442
330	0,642	7,758	61,984	0,0765	0,9235	87,509	0,7083	0,3542
360	0,684	7,716	63,823	0,0814	0,9186	87,982	0,7254	0,3627
390	0,698	7,702	65,193	0,0831	0,9169	88,142	0,7396	0,3698
420	0,735	7,665	67,837	0,0875	0,9125	88,567	0,7659	0,3830
450	0,780	7,620	69,123	0,0929	0,9071	89,090	0,7759	0,3879
480	0,796	7,604	69,828	0,0948	0,9052	89,278	0,7821	0,3911
510	0,837	7,563	73,123	0,0996	0,9004	89,762	0,8146	0,4073
540	0,876	7,524	75,721	0,1043	0,8957	90,227	0,8392	0,4196
570	0,890	7,510	77,124	0,1060	0,8940	90,395	0,8532	0,4266
600	0,933	7,467	82,124	0,1111	0,8889	90,916	0,9033	0,4516

Esfuerzo vs Deformacion



		ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA DE MUESTRAS DE SUELOS			INV E - 152 -13				
		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez				
		Ensayo No. 5		Fecha	Jhoan Sebastian Navas Poveda				
					19 de Junio 2019				
No Capsula	20	Diametro (cm)	3,5						
Peso Capsula (g)	18,14	Altura (cm)	7,7						
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	103,2	Area (cm2)	74,08						
Peso Capsula + Suelo seco (g)	90,94	Peso muestra (g)	156,62						
Peso del agua	12,26	Angulo de falla	19°						
Peso Suelo seco (g)	72,80								
Contenido Humedad (%)	16,84								
Tiempo (seg)	Lectura dial (cm)	Deformacion (cm)	Carga (Kg)	Deformacion Unitaria ϵ	1- ϵ	Area Corregida (cm2)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Resistencia al corte (kg/cm2)	
30	0,023	7,677	27,865	0,0030	0,9970	74,305	0,3750	0,18750	
60	0,061	7,639	35,163	0,0079	0,9921	74,675	0,4709	0,23544	
90	0,099	7,601	40,810	0,0129	0,9871	75,050	0,5438	0,27189	
120	0,135	7,565	45,360	0,0175	0,9825	75,403	0,6016	0,30078	
150	0,170	7,530	49,551	0,0221	0,9779	75,759	0,6541	0,32703	
180	0,211	7,489	53,243	0,0274	0,9726	76,170	0,6990	0,34950	
210	0,247	7,453	56,604	0,0320	0,9680	76,533	0,7396	0,36980	
240	0,282	7,418	59,439	0,0366	0,9634	76,900	0,7729	0,38647	
270	0,320	7,380	62,093	0,0416	0,9584	77,297	0,8033	0,40165	
300	0,358	7,342	64,406	0,0465	0,9535	77,698	0,8289	0,41446	
330	0,394	7,306	66,424	0,0512	0,9488	78,076	0,8508	0,42538	
360	0,429	7,271	68,361	0,0558	0,9442	78,458	0,8713	0,43565	
390	0,468	7,232	69,981	0,0607	0,9393	78,872	0,8873	0,44364	
420	0,503	7,197	71,450	0,0653	0,9347	79,261	0,9015	0,45073	
450	0,539	7,161	72,593	0,0700	0,9300	79,655	0,9113	0,45567	
480	0,577	7,123	73,432	0,0749	0,9251	80,081	0,9170	0,45849	
510	0,617	7,083	74,045	0,0802	0,9198	80,540	0,9194	0,45968	
540	0,655	7,045	74,172	0,0851	0,9149	80,976	0,9160	0,45799	

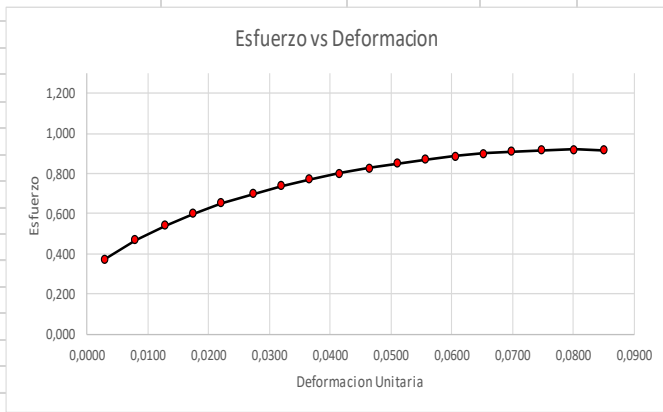





Gráfico de Esfuerzo vs Deformacion. El eje X es Deformacion Unitaria (0,0000 a 0,0900) y el eje Y es Esfuerzo (0,000 a 1,200). La curva muestra una relación no lineal que se vuelve casi horizontal al final.

13.8 ANEXO PRESION DE EXPANSION


 Universidad Pontificia Bolivariana		ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA DE MUESTRAS DE SUELOS				INV E - 120 -13	
		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores		Ricardo Andres Silva Hernandez	
		Ensayo No. 1		Fecha		Jhoan Sebastian Navas Poveda	
						19 de Junio 2019	
Humedad		Inicial	Final				
No Capsula	9	20	Diametro (mm)	64	Ecuacion del anillo	60,46359+8,54523*(x)	
Peso Capsula (g)	31,99	17,83	Altura (mm)	25	Lectura despues de 2 h (x)	20	
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	87,29	54,51	Area (mm2)	80424,77	Valor de la fuerza en N	231,368	
Peso Capsula + Suelo seco (g)	79,44	48,40	Peso anillo (g)	83,91	Indice de expansion (Mpa)	0,288	
Peso del agua	7,85	6,11	Peso anillo + muestra(g)	228,64	Cambio Volumetrico Potencial (CVP)	Crítico	
Peso Suelo seco (g)	47,45	30,57	Peso muestra (g)	144,73			
Contenido Humedad (%)	16,54	19,99					

 Universidad Pontificia Bolivariana		ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA DE MUESTRAS DE SUELOS				INV E - 120 -13	
		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores		Ricardo Andres Silva Hernandez	
		Ensayo No. 2		Fecha		Jhoan Sebastian Navas Poveda	
						19 de Junio 2019	
Humedad		Inicial	Final				
No Capsula	13	333	Diametro (mm)	65	Ecuacion del anillo	60,46359+8,54523*(x)	
Peso Capsula (g)	18,51	27,02	Altura (mm)	24	Lectura despues de 2 h (x)	17	
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	58,51	93,21	Area (mm2)	79639,37	Valor de la fuerza en N	205,733	
Peso Capsula + Suelo seco (g)	52,66	81,82	Peso anillo (g)	89,36	Indice de expansion (Mpa)	0,258	
Peso del agua	5,85	11,39	Peso anillo + muestra(g)	236,64	Cambio Volumetrico Potencial (CVP)	Crítico	
Peso Suelo seco (g)	34,15	54,80	Peso muestra (g)	147,28			
Contenido Humedad (%)	17,13	20,78					


 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA DE MUESTRAS DE SUELOS				INV E - 120 -13	
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL			Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez	
	Ensayo No. 3			Fecha	19 de Junio 2019	
Humedad	Inicial	Final				
No Capsula	35	6	Diametro (mm)	64	Ecuacion del anillo	60,46359+8,54523*(x)
Peso Capsula (g)	10,50	18,48	Altura (mm)	23	Lectura despues de 2 h (x)	17,5
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	49,85	113,49	Area (mm2)	73990,79	Valor de la fuerza en N	210,005
Peso Capsula + Suelo seco (g)	44,17	97,13	Peso anillo (g)	82,22	Indice de expansion (Mpa)	0,284
Peso del agua	5,68	16,36	Peso anillo + muestra(g)	249,9	Cambio Volumetrico Potencial (CVP)	Critico
Peso Suelo seco (g)	33,67	78,65	Peso muestra (g)	167,68		
Contenido Humedad (%)	16,87	20,80				

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA DE MUESTRAS DE SUELOS				INV E - 120 -13	
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL			Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez	
	Ensayo No. 4			Fecha	19 de Junio 2019	
Humedad	Inicial	Final				
No Capsula	49	139	Diametro (mm)	65	Ecuacion del anillo	60,46359+8,54523*(x)
Peso Capsula (g)	11,73	21,18	Altura (mm)	23	Lectura despues de 2 h (x)	19
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	52,81	84,62	Area (mm2)	76321,07	Valor de la fuerza en N	222,823
Peso Capsula + Suelo seco (g)	47,08	72,81	Peso anillo (g)	84,04	Indice de expansion (Mpa)	0,292
Peso del agua	5,73	11,81	Peso anillo + muestra(g)	250,75	Cambio Volumetrico Potencial (CVP)	Critico
Peso Suelo seco (g)	35,35	51,63	Peso muestra (g)	166,71		
Contenido Humedad (%)	16,21	22,87				

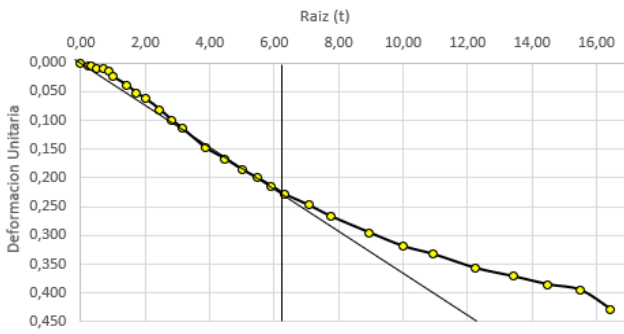
13.9 ANEXO EXPANSION LIBRE

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE EXPANSION LIBRE		INV E -132 -13
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez
		Fecha	Jhoan Sebastian Navas Poveda
			19 de Junio 2019
No Ensayo	Volumen de agua (ml)	Volumen Liquido no polar (ml)	Indice de expansion libre (%)
Ensayo # 1	13,8	11	25,45%
Ensayo # 2	14,5	12	20,83%
Ensayo # 3	13,5	11	22,73%
Ensayo # 4	14,4	12	20,00%
Ensayo # 5	14	11	27,27%

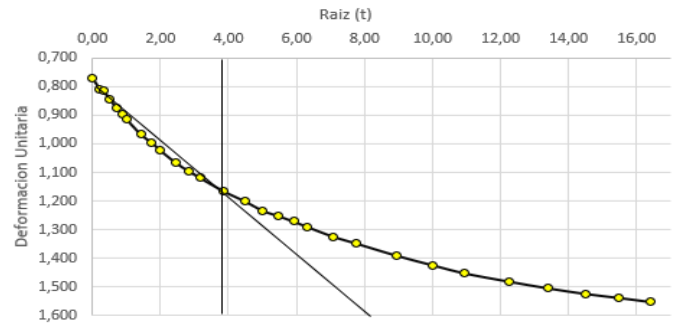
13.10 ANEXO CONSOLIDACION

		ENSAYO DE CONSOLIDACION			INV E -151 -13				
		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez				
		ENSAYO #1		Fecha	Jhoan Sebastian Navas Poveda				
						19 de Junio 2019			
Humedad		Inicial	Final	Cargas (kg) : 1,2,4,8					
No Capsula	25	32	Diametro (cm)	5,2	Carga		T90 (seg)	Cv	
Peso Capsula (g)	13,70	14,80	Altura (cm)	2,1	Cargue	1 Kg	2280	0,000410	
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	49,23	81,13	Area (cm2)	21,24		2 Kg	1020	0,000917	
Peso Capsula + Suelo seco (g)	44,24	69,61				4 Kg	900	0,001039	
Peso del agua	4,99	11,52	Peso anillo	120,42		8 Kg	1080	0,000866	
Peso Suelo seco (g)	30,54	54,81	Peso anillo + Muestra	219,06	Descargue		2040	0,000458	
Contenido Humedad (%)	16,34	21,02	Peso Muestra	98,64			2040	0,000458	
CARGUE									
		1 Kg		2 Kg		4 Kg		8 Kg	
Tiempo (min)	Raiz (t)	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria
0,00	0,00	0,000	0,00000	0,162	0,77143	0,432	2,05714	0,918	4,37143
0,05	0,22	0,001	0,00476	0,170	0,80952	0,482	2,29524	0,930	4,42857
0,10	0,32	0,001	0,00476	0,171	0,81429	0,493	2,34762	0,944	4,49524
0,25	0,50	0,002	0,00952	0,177	0,84286	0,507	2,41429	0,961	4,57619
0,50	0,71	0,002	0,00952	0,184	0,87619	0,520	2,47619	0,977	4,65238
0,75	0,87	0,003	0,01429	0,188	0,89524	0,530	2,52381	0,988	4,70476
1,0	1,00	0,005	0,02381	0,192	0,91429	0,537	2,55714	0,996	4,74286
2,0	1,41	0,008	0,03810	0,203	0,96667	0,560	2,66667	1,018	4,84762
3,0	1,73	0,011	0,05238	0,209	0,99524	0,570	2,71429	1,033	4,91905
4,0	2,00	0,013	0,06190	0,215	1,02381	0,579	2,75714	1,044	4,97143
6,0	2,45	0,017	0,08095	0,224	1,06667	0,592	2,81905	1,062	5,05714
8,0	2,83	0,021	0,10000	0,230	1,09524	0,601	2,86190	1,075	5,11905
10	3,16	0,024	0,11429	0,235	1,11905	0,609	2,90000	1,087	5,17619
15	3,87	0,031	0,14762	0,245	1,16667	0,624	2,97143	1,108	5,27619
20	4,47	0,035	0,16667	0,252	1,20000	0,635	3,02381	1,124	5,35238
25	5,00	0,039	0,18571	0,259	1,23333	0,645	3,07143	1,138	5,41905
30	5,48	0,042	0,20000	0,263	1,25238	0,652	3,10476	1,150	5,47619
35	5,92	0,045	0,21429	0,267	1,27143	0,658	3,13333	1,160	5,52381
40	6,32	0,048	0,22857	0,271	1,29048	0,664	3,16190	1,169	5,56667
50	7,07	0,052	0,24762	0,278	1,32381	0,674	3,20952	1,185	5,64286
60	7,75	0,056	0,26667	0,283	1,34762	0,682	3,24762	1,198	5,70476
80	8,94	0,062	0,29524	0,292	1,39048	0,695	3,30952	1,219	5,80476
100	10,00	0,067	0,31905	0,299	1,42381	0,705	3,35714	1,235	5,88095
120	10,95	0,070	0,33333	0,305	1,45238	0,713	3,39524	1,250	5,95238
150	12,25	0,075	0,35714	0,311	1,48095	0,723	3,44286	1,263	6,01429
180	13,42	0,078	0,37143	0,316	1,50476	0,730	3,47619	1,272	6,05714
210	14,49	0,081	0,38571	0,320	1,52381	0,736	3,50476	1,279	6,09048
240	15,49	0,083	0,39524	0,323	1,53810	0,740	3,52381	1,283	6,10952
270	16,43	0,090	0,42857	0,326	1,55238	0,762	3,62857	1,287	6,12857
DESCARGUE									
Tiempo (min)	Raiz(t)	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria				
0	0,00000	1,244	5,92381	1,012	4,81905				
0,05	0,22361	1,239	5,90000	0,991	4,71905				
0,10	0,31623	1,238	5,89524	0,988	4,70476				
0,25	0,50000	1,234	5,87619	0,981	4,67143				
0,50	0,70711	1,229	5,85238	0,974	4,63810				
0,75	0,86603	1,226	5,83810	0,969	4,61429				
1	1,00000	1,223	5,82381	0,964	4,59048				
2	1,41421	1,213	5,77619	0,949	4,51905				
3	1,73205	1,206	5,74286	0,938	4,46667				
4	2,00000	1,201	5,71905	0,929	4,42381				
6	2,44949	1,192	5,67619	0,913	4,34762				
8	2,82843	1,185	5,64286	0,901	4,29048				
10	3,16228	1,178	5,60952	0,889	4,23333				
15	3,87298	1,165	5,54762	0,865	4,11905				
20	4,47214	1,155	5,50000	0,845	4,02381				
25	5,00000	1,146	5,45714	0,828	3,94286				
30	5,47723	1,138	5,41905	0,813	3,87143				
35	5,91608	1,131	5,38571	0,800	3,80952				
40	6,32456	1,126	5,36190	0,788	3,75238				
50	7,07107	1,115	5,30952	0,768	3,65714				
65	8,06226	1,107	5,27143	0,749	3,56667				
80	8,94427	1,094	5,20952	0,718	3,41905				
100	10,00000	1,084	5,16190	0,692	3,29524				
120	10,95445	1,076	5,12381	0,669	3,18571				
150	12,24745	1,068	5,08571	0,640	3,04762				
180	13,41641	1,063	5,06190	0,616	2,93333				
210	14,49138	1,059	5,04286	0,594	2,82857				
240	15,49193	1,056	5,02857	0,586	2,79048				

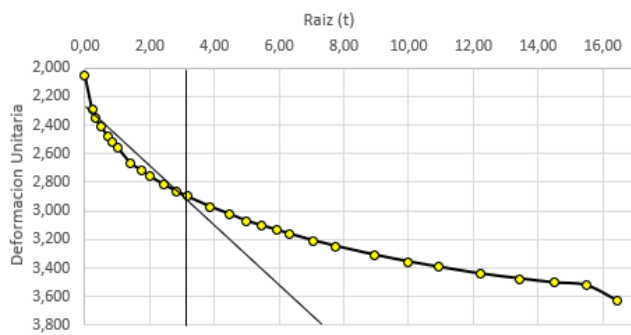
Cargue 1 Kg



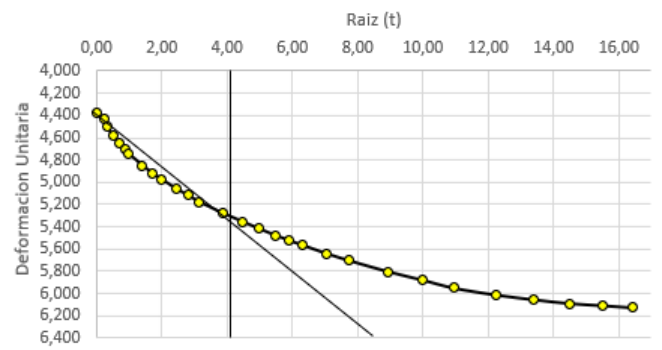
Cargue 2 Kg



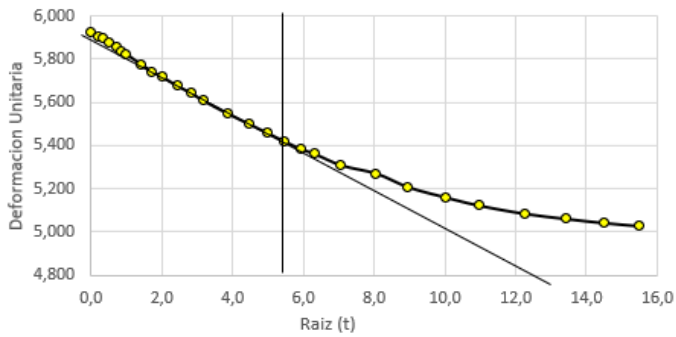
Cargue 4 Kg



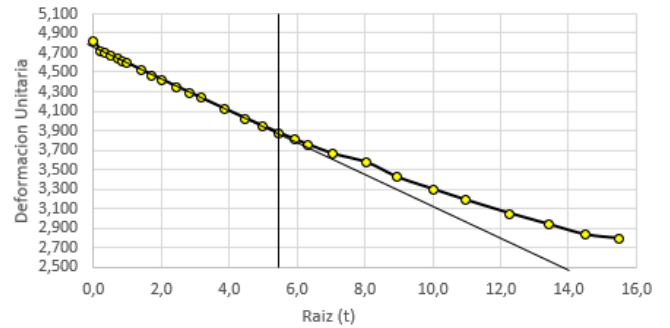
Cargue 8 Kg




Descargue

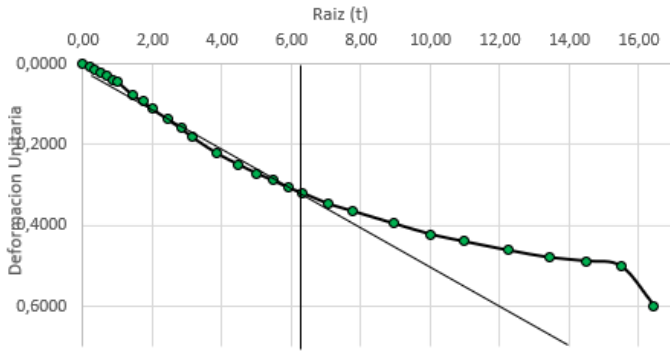


Descargue

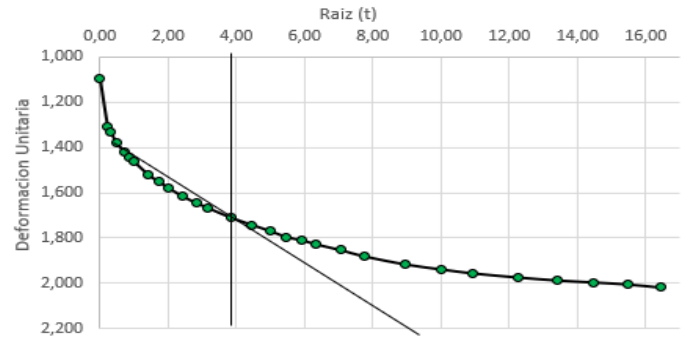


 Universidad Pontificia Bolivariana		ENSAYO DE CONSOLIDACION				INV E -151 -13			
		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores		Ricardo Andres Silva Hernandez			
		ENSAYO #2		Fecha		Jhoan Sebastian Navas Poveda			
19 de Junio 2019									
Humedad		Inicial	Final	Cargas (kg) : 1,2,4,8					
No Capsula	52	13	Diametro (cm)	5,1	Cargue	Carga	T90 (seg)	Cv	
Peso Capsula (g)	10,47	18,50	Altura (cm)	2,25		1 Kg	2220	0,000483	
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	30,20	58,61	Area (cm2)	20,43		2 Kg	900	0,001193	
Peso Capsula + Suelo seco (g)	27,43	51,58				4 Kg	1020	0,001052	
Peso del agua	2,77	7,03	Peso anillo	116,4	Descargue	8 Kg	960	0,001118	
Peso Suelo seco (g)	16,96	33,08	Peso anillo + Muestra	214,19		2160	0,000497		
Contenido Humedad (%)	16,33	21,25	Peso Muestra	97,79		2280	0,000471		
CARGUE									
Tiempo (min)	Raiz (t)	1 Kg		2 Kg		4 Kg		8 Kg	
		Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria
0,00	0,00	0,000	0,00000	0,247	1,09778	0,454	2,01778	1,016	4,51556
0,05	0,22	0,002	0,00889	0,294	1,30667	0,472	2,09778	1,237	5,49778
0,10	0,32	0,003	0,01333	0,300	1,33333	0,498	2,21333	1,245	5,53333
0,25	0,50	0,005	0,02222	0,311	1,38222	0,690	3,06667	1,268	5,63556
0,50	0,71	0,007	0,03111	0,319	1,41778	0,718	3,19111	1,284	5,70667
0,75	0,87	0,009	0,04000	0,325	1,44444	0,753	3,34667	1,295	5,75556
1,0	1,00	0,010	0,04444	0,329	1,46222	0,765	3,40000	1,303	5,79111
2,0	1,41	0,017	0,07556	0,342	1,52000	0,795	3,53333	1,325	5,88889
3,0	1,73	0,021	0,09333	0,349	1,55111	0,808	3,59111	1,340	5,95556
4,0	2,00	0,025	0,11111	0,355	1,57778	0,818	3,63556	1,351	6,00444
6,0	2,45	0,031	0,13778	0,364	1,61778	0,832	3,69778	1,369	6,08444
8,0	2,83	0,036	0,16000	0,370	1,64444	0,843	3,74667	1,382	6,14222
10	3,16	0,041	0,18222	0,375	1,66667	0,852	3,78667	1,394	6,19556
15	3,87	0,050	0,22222	0,385	1,71111	0,869	3,86222	1,416	6,29333
20	4,47	0,056	0,24889	0,392	1,74222	0,881	3,91556	1,434	6,37333
25	5,00	0,061	0,27111	0,398	1,76889	0,890	3,95556	1,449	6,44000
30	5,48	0,065	0,28889	0,404	1,79556	0,898	3,99111	1,461	6,49333
35	5,92	0,069	0,30667	0,407	1,80889	0,905	4,02222	1,472	6,54222
40	6,32	0,072	0,32000	0,411	1,82667	0,912	4,05333	1,481	6,58222
50	7,07	0,078	0,34667	0,417	1,85333	0,923	4,10222	1,498	6,65778
60	7,75	0,082	0,36444	0,423	1,88000	0,932	4,14222	1,511	6,71556
80	8,94	0,089	0,39556	0,431	1,91556	0,946	4,20444	1,532	6,80889
100	10,00	0,095	0,42222	0,436	1,93778	0,956	4,24889	1,546	6,87111
120	10,95	0,099	0,44000	0,440	1,95556	0,964	4,28444	1,560	6,93333
150	12,25	0,104	0,46222	0,444	1,97333	0,973	4,32444	1,571	6,98222
180	13,42	0,108	0,48000	0,447	1,98667	0,979	4,35111	1,582	7,03111
210	14,49	0,110	0,48889	0,449	1,99556	0,983	4,36889	1,587	7,05333
240	15,49	0,113	0,50222	0,451	2,00444	0,995	4,42222	1,589	7,06222
270	16,43	0,135	0,60000	0,454	2,01778	1,010	4,48889	1,591	7,07111
DESCARGUE									
Tiempo (min)	Raiz(t)	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria				
0	0,00000	1,5660	6,96000	1,374	6,10667				
0,05	0,22361	1,5550	6,91111	1,323	5,88000				
0,10	0,31623	1,5540	6,90667	1,317	5,85333				
0,25	0,50000	1,5510	6,89333	1,309	5,81778				
0,50	0,70711	1,5470	6,87556	1,301	5,78222				
0,75	0,86603	1,5460	6,87111	1,295	5,75556				
1	1,00000	1,5430	6,85778	1,289	5,72889				
2	1,41421	1,5360	6,82667	1,274	5,66222				
3	1,73205	1,5310	6,80444	1,262	5,60889				
4	2,00000	1,5270	6,78667	1,251	5,56000				
6	2,44949	1,5200	6,75556	1,234	5,48444				
8	2,82843	1,5130	6,72444	1,221	5,42667				
10	3,16228	1,5080	6,70222	1,210	5,37778				
15	3,87298	1,4960	6,64889	1,188	5,28000				
20	4,47214	1,4870	6,60889	1,170	5,20000				
25	5,00000	1,4800	6,57778	1,154	5,12889				
30	5,47723	1,4730	6,54667	1,140	5,06667				
35	5,91608	1,4680	6,52444	1,127	5,00889				
40	6,32456	1,4630	6,50222	1,115	4,95556				
50	7,07107	1,4560	6,47111	1,094	4,86222				
65	8,06226	1,4500	6,44444	1,075	4,77778				
80	8,94427	1,4410	6,40444	1,044	4,64000				
100	10,00000	1,4350	6,37778	1,019	4,52889				
120	10,95445	1,4300	6,35556	0,998	4,43556				
150	12,24745	1,4260	6,33778	0,973	4,32444				
180	13,41641	1,4230	6,32444	0,951	4,22667				
210	14,49138	1,4210	6,31556	0,934	4,15111				
240	15,49193	1,4200	6,31111	0,922	4,09778				

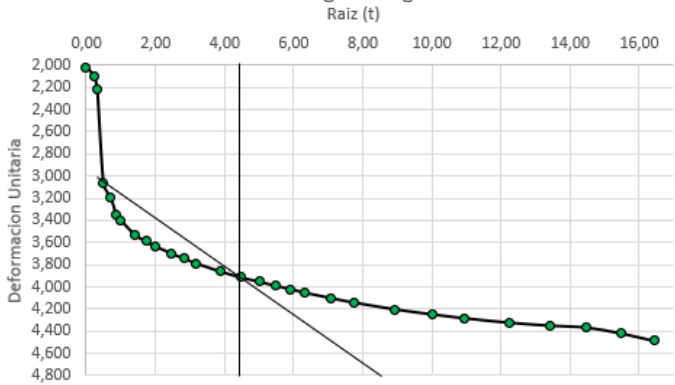
Cargue 1 Kg



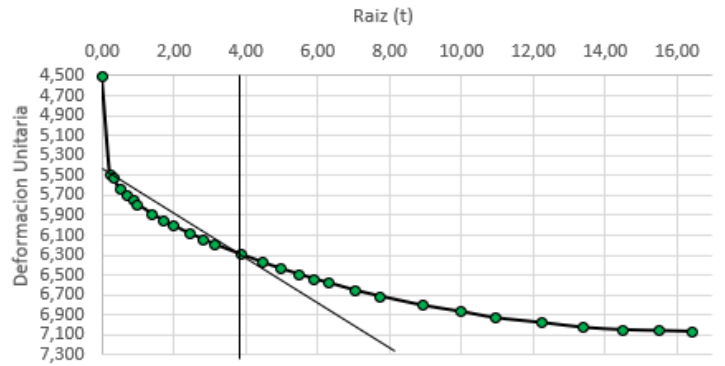
Cargue 2 Kg



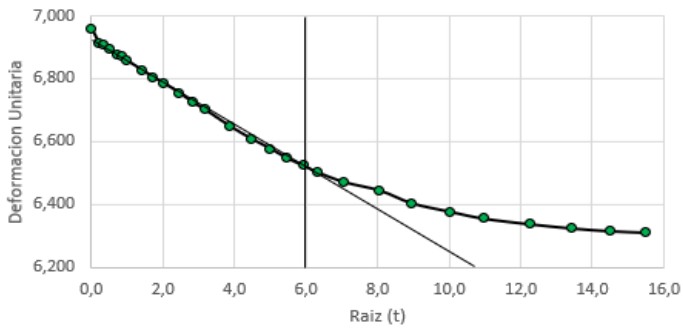
Cargue 4 Kg



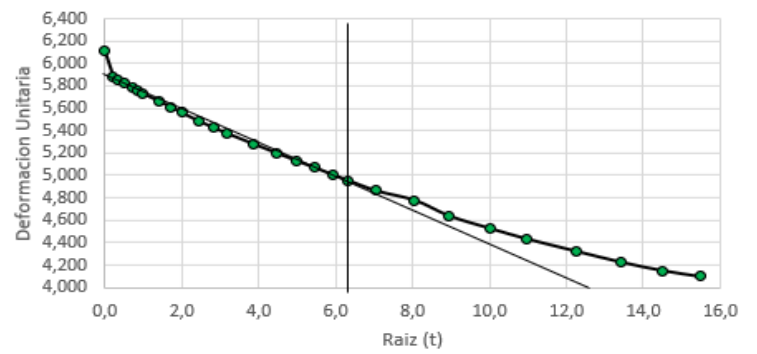
Cargue 8 Kg




Descargue

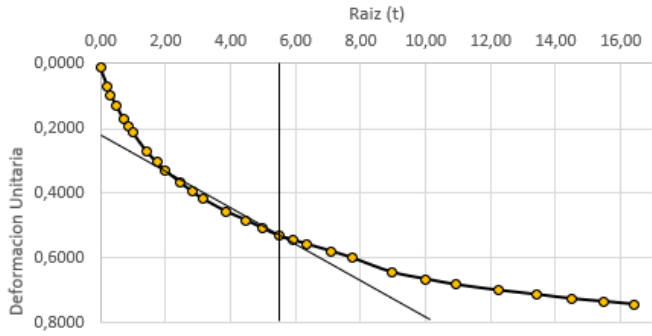


Descargue

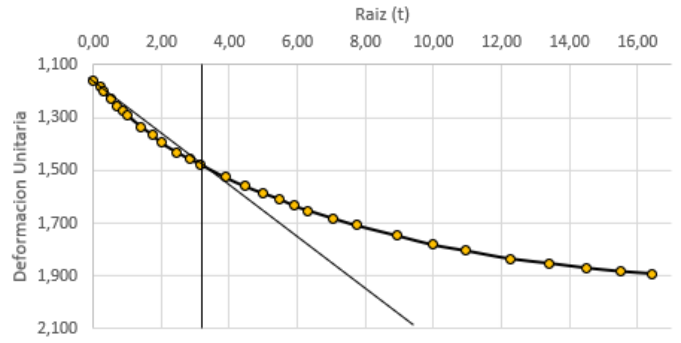


	ENSAYO DE CONSOLIDACION				INV E -151 -13				
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores		Ricardo Andres Silva Hernandez				
	ENSAYO #3		Fecha		Jhoan Sebastian Navas Poveda				
	19 de Junio 2019								
Humedad		Inicial	Final	Cargas (kg) : 1,2,4,8					
No Capsula	40	17	Diametro (cm)	5,2	Cargue	Carga	T90 (seg)	Cv	
Peso Capsula (g)	11,30	18,17	Altura (cm)	2,3		1 Kg	2040	0,000550	
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	31,68	61,55	Area (cm2)	21,24		2 Kg	840	0,001335	
Peso Capsula + Suelo seco (g)	28,79	53,69				4 Kg	900	0,001246	
Peso del agua	2,89	7,86	Peso anillo	122,16	8 Kg	840	0,001335		
Peso Suelo seco (g)	17,49	35,52	Peso anillo + Muestra	220,2	Descargue		2100	0,000534	
Contenido Humedad (%)	16,52	22,13	Peso Muestra	98,04			2100	0,000534	
CARGUE									
Tiempo (min)	Raiz (t)	1 Kg		2 Kg		4 Kg		8 Kg	
		Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria
0,00	0,00	0,003	0,01304	0,267	1,16087	0,604	2,62609	0,862	3,74783
0,05	0,22	0,016	0,06957	0,272	1,18261	0,609	2,64783	0,985	4,28261
0,10	0,32	0,022	0,09565	0,276	1,20000	0,613	2,66522	1,009	4,38696
0,25	0,50	0,030	0,13043	0,283	1,23043	0,620	2,69565	1,027	4,46522
0,50	0,71	0,039	0,16957	0,289	1,25652	0,629	2,73478	1,041	4,52609
0,75	0,87	0,044	0,19130	0,293	1,27391	0,635	2,76087	1,050	4,56522
1,0	1,00	0,049	0,21304	0,297	1,29130	0,640	2,78261	1,058	4,60000
2,0	1,41	0,062	0,26957	0,307	1,33478	0,654	2,84348	1,079	4,69130
3,0	1,73	0,070	0,30435	0,314	1,36522	0,665	2,89130	1,092	4,74783
4,0	2,00	0,076	0,33043	0,321	1,39565	0,673	2,92609	1,103	4,79565
6,0	2,45	0,084	0,36522	0,329	1,43043	0,685	2,97826	1,121	4,87391
8,0	2,83	0,091	0,39565	0,335	1,45652	0,695	3,02174	1,134	4,93043
10	3,16	0,096	0,41739	0,340	1,47826	0,703	3,05652	1,146	4,98261
15	3,87	0,105	0,45652	0,351	1,52609	0,720	3,13043	1,168	5,07826
20	4,47	0,111	0,48261	0,359	1,56087	0,732	3,18261	1,188	5,16522
25	5,00	0,117	0,50870	0,365	1,58696	0,742	3,22609	1,203	5,23043
30	5,48	0,122	0,53043	0,370	1,60870	0,751	3,26522	1,217	5,29130
35	5,92	0,125	0,54348	0,376	1,63478	0,759	3,30000	1,227	5,33478
40	6,32	0,128	0,55652	0,380	1,65217	0,766	3,33043	1,238	5,38261
50	7,07	0,133	0,57826	0,387	1,68261	0,778	3,38261	1,256	5,46087
60	7,75	0,138	0,60000	0,393	1,70870	0,788	3,42609	1,271	5,52609
80	8,94	0,148	0,64348	0,402	1,74783	0,803	3,49130	1,292	5,61739
100	10,00	0,153	0,66522	0,410	1,78261	0,815	3,54348	1,308	5,68696
120	10,95	0,157	0,68261	0,415	1,80435	0,825	3,58696	1,323	5,75217
150	12,25	0,161	0,70000	0,422	1,83478	0,836	3,63478	1,336	5,80870
180	13,42	0,164	0,71304	0,426	1,85217	0,843	3,66522	1,344	5,84348
210	14,49	0,167	0,72609	0,430	1,86957	0,849	3,69130	1,350	5,86957
240	15,49	0,169	0,73478	0,433	1,88261	0,854	3,71304	1,353	5,88261
270	16,43	0,171	0,74348	0,435	1,89130	0,862	3,74783	1,356	5,89565
DESCARGUE									
Tiempo (min)	Raiz(t)	1 Kg		2 Kg		4 Kg		8 Kg	
		Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria
0	0,00000	1,3150	5,71739	1,060	4,60870				
0,05	0,22361	1,3070	5,68261	1,047	4,55217				
0,10	0,31623	1,3060	5,67826	1,042	4,53043				
0,25	0,50000	1,3020	5,66087	1,037	4,50870				
0,50	0,70711	1,2980	5,64348	1,029	4,47391				
0,75	0,86603	1,2940	5,62609	1,025	4,45652				
1	1,00000	1,2910	5,61304	1,021	4,43913				
2	1,41421	1,2820	5,57391	1,006	4,37391				
3	1,73205	1,2750	5,54348	0,996	4,33043				
4	2,00000	1,2690	5,51739	0,989	4,30000				
6	2,44949	1,2590	5,47391	0,976	4,24348				
8	2,82843	1,2520	5,44348	0,965	4,19565				
10	3,16228	1,2450	5,41304	0,956	4,15652				
15	3,87298	1,2310	5,35217	0,936	4,06957				
20	4,47214	1,2200	5,30435	0,920	4,00000				
25	5,00000	1,2110	5,26522	0,905	3,93478				
30	5,47723	1,2020	5,22609	0,892	3,87826				
35	5,91608	1,1950	5,19565	0,880	3,82609				
40	6,32456	1,1890	5,16957	0,869	3,77826				
50	7,07107	1,1780	5,12174	0,849	3,69130				
65	8,06226	1,1690	5,08261	0,831	3,61304				
80	8,94427	1,1560	5,02609	0,800	3,47826				
100	10,00000	1,1470	4,98696	0,773	3,36087				
120	10,95445	1,1380	4,94783	0,750	3,26087				
150	12,24745	1,1310	4,91739	0,720	3,13043				
180	13,41641	1,1250	4,89130	0,695	3,02174				
210	14,49138	1,1210	4,87391	0,673	2,92609				
240	15,49193	1,1190	4,86522	0,652	2,83478				

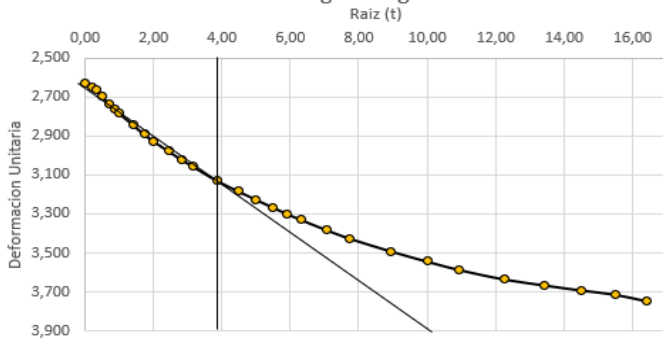
Cargue 1 Kg



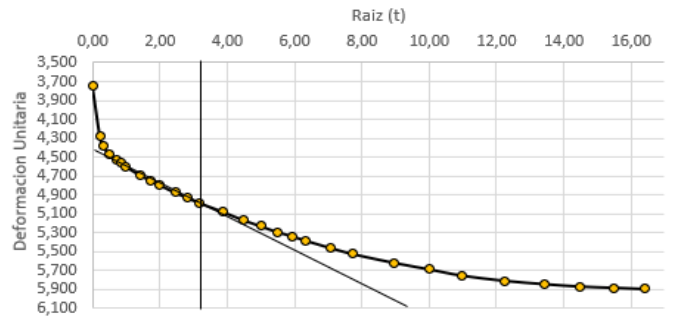
Cargue 2 Kg



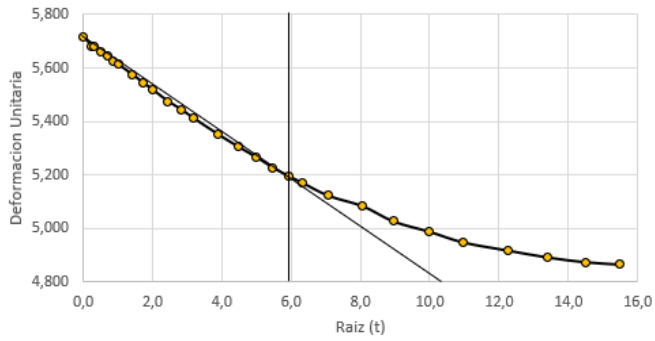
Cargue 4 Kg



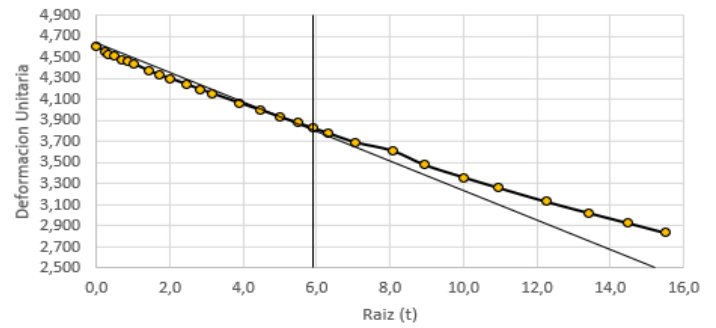
Cargue 8 Kg




Descargue

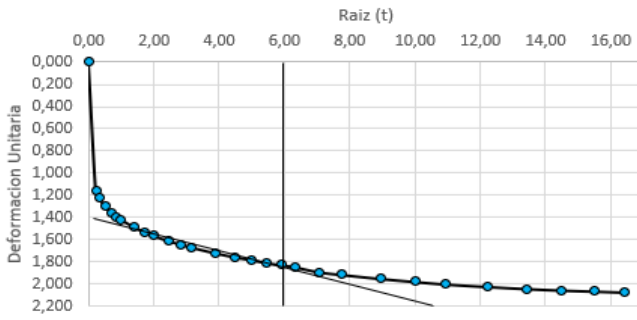


Descargue

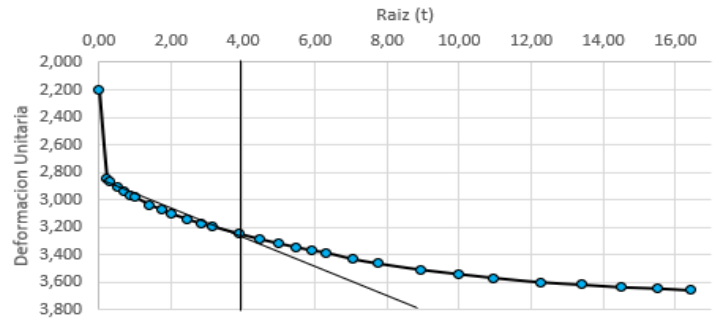


 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE CONSOLIDACION				INV E -151 -13				
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores		Ricardo Andres Silva Hernandez				
	ENSAYO #4		Fecha		Jhoan Sebastian Navas Poveda				
19 de Junio 2019									
Humedad	Inicial	Final	Diametro (cm)	5,2	Cargas (kg) : 1,2,4,8				
No Capsula	27	24	Altura (cm)	2,2	Cargue	Carga	T90 (seg)	Cv	
Peso Capsula (g)	18,05	18,53	Area (cm2)	21,24		1 Kg	2100	0,000475	
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	54,25	61,13				2 Kg	1020	0,001006	
Peso Capsula + Suelo seco (g)	49,18	53,63				4 Kg	900	0,001140	
Peso del agua	5,07	7,50	Peso anillo	123,06	Descargue	8 Kg	960	0,001069	
Peso Suelo seco (g)	31,13	35,10	Peso anillo + Muestra	221,3			2100	0,000489	
Contenido Humedad (%)	16,29	21,37	Peso Muestra	98,24			2280	0,000450	
CARGUE									
		1 Kg	2 Kg	4 Kg	8 Kg				
Tiempo (min)	Raiz (t)	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria
0,00	0,00	0,000	0,00000	0,483	2,19545	0,859	3,90455	1,302	5,91818
0,05	0,22	0,255	1,15909	0,627	2,85000	0,953	4,33182	1,492	6,78182
0,10	0,32	0,268	1,21818	0,631	2,86818	0,983	4,46818	1,514	6,88182
0,25	0,50	0,285	1,29545	0,640	2,90909	1,005	4,56818	1,540	7,00000
0,50	0,71	0,298	1,35455	0,647	2,94091	1,022	4,64545	1,557	7,07727
0,75	0,87	0,306	1,39091	0,652	2,96364	1,031	4,68636	1,569	7,13182
1,0	1,00	0,312	1,41818	0,656	2,98182	1,038	4,71818	1,577	7,16818
2,0	1,41	0,327	1,48636	0,668	3,03636	1,057	4,80455	1,601	7,27727
3,0	1,73	0,337	1,53182	0,676	3,07273	1,068	4,85455	1,617	7,35000
4,0	2,00	0,344	1,56364	0,682	3,10000	1,077	4,89545	1,629	7,40455
6,0	2,45	0,354	1,60909	0,691	3,14091	1,091	4,95909	1,647	7,48636
8,0	2,83	0,361	1,64091	0,698	3,17273	1,101	5,00455	1,662	7,55455
10	3,16	0,367	1,66818	0,703	3,19545	1,109	5,04091	1,673	7,60455
15	3,87	0,378	1,71818	0,714	3,24545	1,125	5,11364	1,697	7,71364
20	4,47	0,386	1,75455	0,723	3,28636	1,136	5,16364	1,715	7,79545
25	5,00	0,392	1,78182	0,730	3,31818	1,146	5,20909	1,730	7,86364
30	5,48	0,398	1,80909	0,736	3,34545	1,155	5,25000	1,743	7,92273
35	5,92	0,402	1,82727	0,741	3,36818	1,162	5,28182	1,755	7,97727
40	6,32	0,406	1,84545	0,745	3,38636	1,169	5,31364	1,765	8,02273
50	7,07	0,416	1,89091	0,755	3,43182	1,181	5,36818	1,782	8,10000
60	7,75	0,421	1,91364	0,762	3,46364	1,190	5,40909	1,798	8,17273
80	8,94	0,429	1,95000	0,772	3,50909	1,205	5,47727	1,822	8,28182
100	10,00	0,435	1,97727	0,779	3,54091	1,217	5,53182	1,840	8,36364
120	10,95	0,440	2,00000	0,785	3,56818	1,225	5,56818	1,855	8,43182
150	12,25	0,445	2,02273	0,792	3,60000	1,235	5,61364	1,872	8,50909
180	13,42	0,449	2,04091	0,796	3,61818	1,242	5,64545	1,883	8,55909
210	14,49	0,452	2,05455	0,800	3,63636	1,247	5,66818	1,891	8,59545
240	15,49	0,454	2,06364	0,802	3,64545	1,250	5,68182	1,896	8,61818
270	16,43	0,456	2,07273	0,805	3,65909	1,253	5,69545	1,900	8,63636
DESCARGUE									
Tiempo (min)	Raiz(t)	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria				
0	0,00000	1,8910	8,59545	1,723	7,83182				
0,05	0,22361	1,8810	8,55000	1,648	7,49091				
0,10	0,31623	1,8790	8,54091	1,644	7,47273				
0,25	0,50000	1,8760	8,52727	1,639	7,45000				
0,50	0,70711	1,8740	8,51818	1,634	7,42727				
0,75	0,86603	1,8690	8,49545	1,630	7,40909				
1	1,00000	1,8680	8,49091	1,625	7,38636				
2	1,41421	1,8620	8,46364	1,613	7,33182				
3	1,73205	1,8580	8,44545	1,602	7,28182				
4	2,00000	1,8540	8,42727	1,594	7,24545				
6	2,44949	1,8480	8,40000	1,580	7,18182				
8	2,82843	1,8420	8,37273	1,568	7,12727				
10	3,16228	1,8380	8,35455	1,557	7,07727				
15	3,87298	1,8280	8,30909	1,535	6,97727				
20	4,47214	1,8210	8,27727	1,515	6,88636				
25	5,00000	1,8150	8,25000	1,500	6,81818				
30	5,47723	1,8100	8,22727	1,485	6,75000				
35	5,91608	1,8050	8,20455	1,473	6,69545				
40	6,32456	1,8010	8,18636	1,460	6,63636				
50	7,07107	1,7940	8,15455	1,440	6,54545				
65	8,06226	1,7890	8,13182	1,420	6,45455				
80	8,94427	1,7800	8,09091	1,388	6,30909				
100	10,00000	1,7740	8,06364	1,360	6,18182				
120	10,95445	1,7700	8,04545	1,334	6,06364				
150	12,24745	1,7650	8,02273	1,300	5,90909				
180	13,41641	1,7620	8,00909	1,271	5,77727				
210	14,49138	1,7600	8,00000	1,246	5,66364				
240	15,49193	1,7454	7,93364	1,223	5,55909				

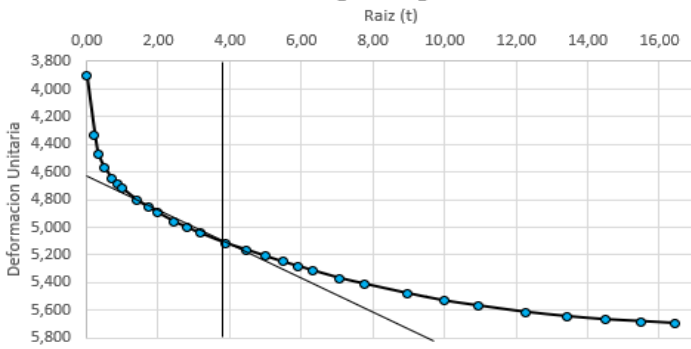
Cargue 1 Kg



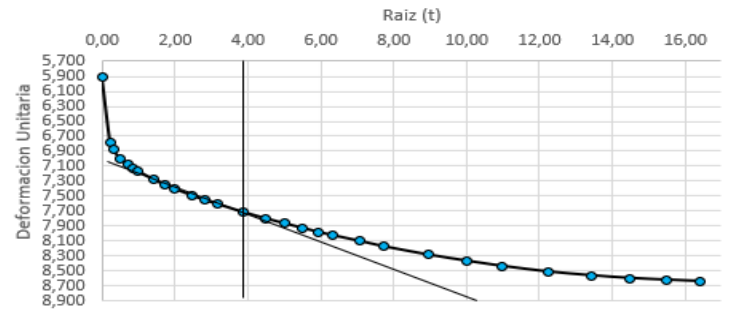
Cargue 2 Kg



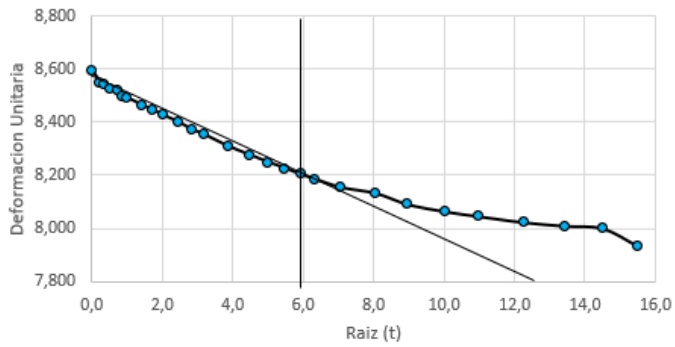
Cargue 4 Kg



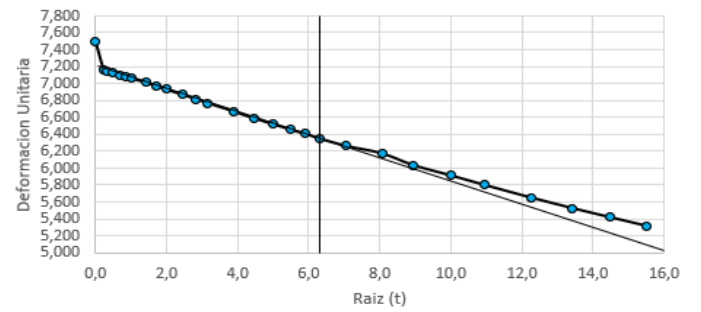
Cargue 8 Kg




Descargue

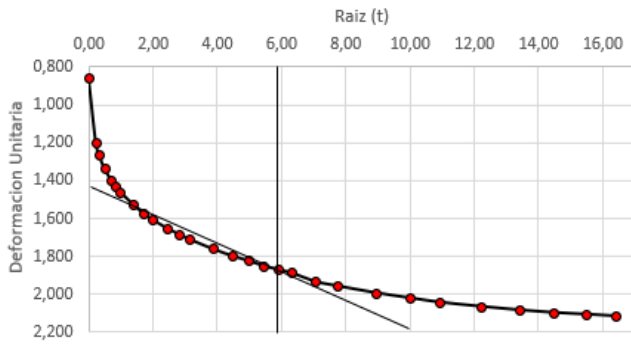


Descargue

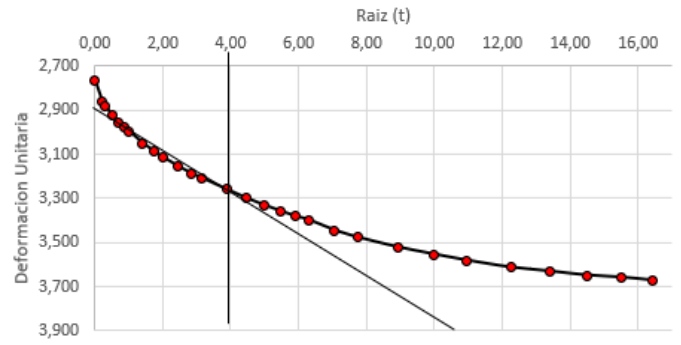


	ENSAYO DE CONSOLIDACION				INV E -151 -13				
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL			Autores	Ricardo Andres Silva Hernandez				
	ENSAYO #5			Fecha	Jhoan Sebastian Navas Poveda				
					19 de Junio 2019				
Humedad	Inicial	Final	Cargas (kg) : 1,2,4,8						
No Capsula	55	35	Diametro (cm)	5,1	Cargue	Carga	T90 (seg)	Cv	
Peso Capsula (g)	12,10	248,31	Altura (cm)	2,2		1 Kg	2100	0,000489	
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	51,78	352,98	Area (cm2)	20,43		2 Kg	960	0,001069	
Peso Capsula + Suelo seco (g)	46,26	334,51				4 Kg	900	0,001140	
Peso del agua	5,52	18,47	Peso anillo	124,35	Descargue	8 Kg	780	0,001315	
Peso Suelo seco (g)	34,16	86,20	Peso anillo + Muestra	222,3			2040	0,000503	
Contenido Humedad (%)	16,16	21,43	Peso Muestra	97,95			2040	0,000503	
CARGUE									
Tiempo (min)	Raiz (t)	1 Kg		2 Kg		4 Kg		8 Kg	
		Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria
0,00	0,00	0,190	0,86364	0,608	2,76364	0,910	4,13636	1,360	6,18182
0,05	0,22	0,265	1,20455	0,630	2,86364	0,959	4,35909	1,496	6,80000
0,10	0,32	0,278	1,26364	0,634	2,88182	0,989	4,49545	1,518	6,90000
0,25	0,50	0,295	1,34091	0,643	2,92273	1,011	4,59545	1,544	7,01818
0,50	0,71	0,308	1,40000	0,650	2,95455	1,028	4,67273	1,561	7,09545
0,75	0,87	0,316	1,43636	0,655	2,97727	1,037	4,71364	1,573	7,15000
1,0	1,00	0,322	1,46364	0,659	2,99545	1,044	4,74545	1,581	7,18636
2,0	1,41	0,337	1,53182	0,671	3,05000	1,063	4,83182	1,605	7,29545
3,0	1,73	0,347	1,57727	0,679	3,08636	1,074	4,88182	1,621	7,36818
4,0	2,00	0,354	1,60909	0,685	3,11364	1,083	4,92273	1,633	7,42273
6,0	2,45	0,364	1,65455	0,694	3,15455	1,097	4,98636	1,651	7,50455
8,0	2,83	0,371	1,68636	0,701	3,18636	1,107	5,03182	1,666	7,57273
10	3,16	0,377	1,71364	0,706	3,20909	1,115	5,06818	1,677	7,62273
15	3,87	0,388	1,76364	0,717	3,25909	1,131	5,14091	1,701	7,73182
20	4,47	0,396	1,80000	0,726	3,30000	1,142	5,19091	1,719	7,81364
25	5,00	0,402	1,82727	0,733	3,33182	1,152	5,23636	1,734	7,88182
30	5,48	0,408	1,85455	0,739	3,35909	1,161	5,27727	1,747	7,94091
35	5,92	0,412	1,87273	0,744	3,38182	1,168	5,30909	1,759	7,99545
40	6,32	0,416	1,89091	0,748	3,40000	1,175	5,34091	1,769	8,04091
50	7,07	0,426	1,93636	0,758	3,44545	1,187	5,39545	1,786	8,11818
60	7,75	0,431	1,95909	0,765	3,47727	1,196	5,43636	1,802	8,19091
80	8,94	0,439	1,99545	0,775	3,52273	1,211	5,50455	1,826	8,30000
100	10,00	0,445	2,02273	0,782	3,55455	1,223	5,55909	1,844	8,38182
120	10,95	0,450	2,04545	0,788	3,58182	1,231	5,59545	1,859	8,45000
150	12,25	0,455	2,06818	0,795	3,61364	1,241	5,64091	1,876	8,52727
180	13,42	0,459	2,08636	0,799	3,63182	1,248	5,67273	1,887	8,57727
210	14,49	0,462	2,10000	0,803	3,65000	1,253	5,69545	1,895	8,61364
240	15,49	0,464	2,10909	0,805	3,65909	1,256	5,70909	1,900	8,63636
270	16,43	0,466	2,11818	0,808	3,67273	1,259	5,72273	1,904	8,65455
DESCARGUE									
Tiempo (min)	Raiz(t)	Deformacion	Deformacion Unitaria	Deformacion	Deformacion Unitaria				
0	0,00000	1,9110	8,68636	1,731	7,86818				
0,05	0,22361	1,9010	8,64091	1,656	7,52727				
0,10	0,31623	1,8990	8,63182	1,652	7,50909				
0,25	0,50000	1,8960	8,61818	1,647	7,48636				
0,50	0,70711	1,8940	8,60909	1,642	7,46364				
0,75	0,86603	1,8890	8,58636	1,638	7,44545				
1	1,00000	1,8880	8,58182	1,633	7,42273				
2	1,41421	1,8820	8,55455	1,621	7,36818				
3	1,73205	1,8780	8,53636	1,610	7,31818				
4	2,00000	1,8740	8,51818	1,602	7,28182				
6	2,44949	1,8680	8,49091	1,588	7,21818				
8	2,82843	1,8620	8,46364	1,576	7,16364				
10	3,16228	1,8580	8,44545	1,565	7,11364				
15	3,87298	1,8490	8,40455	1,543	7,01364				
20	4,47214	1,8410	8,36818	1,523	6,92273				
25	5,00000	1,8350	8,34091	1,508	6,85455				
30	5,47723	1,8300	8,31818	1,493	6,78636				
35	5,91608	1,8250	8,29545	1,481	6,73182				
40	6,32456	1,8210	8,27727	1,468	6,67273				
50	7,07107	1,8140	8,24545	1,448	6,58182				
65	8,06226	1,8070	8,21364	1,428	6,49091				
80	8,94427	1,8000	8,18182	1,396	6,34545				
100	10,00000	1,7940	8,15455	1,368	6,21818				
120	10,95445	1,7900	8,13636	1,342	6,10000				
150	12,24745	1,7850	8,11364	1,308	5,94545				
180	13,41641	1,7820	8,10000	1,279	5,81364				
210	14,49138	1,7800	8,09091	1,254	5,70000				
240	15,49193	1,7760	8,07273	1,231	5,59545				

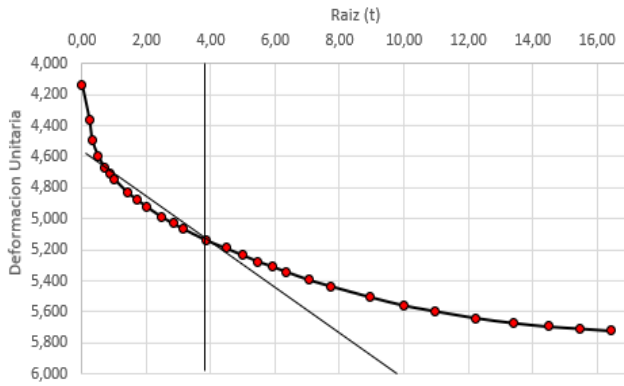
Cargue 1 Kg



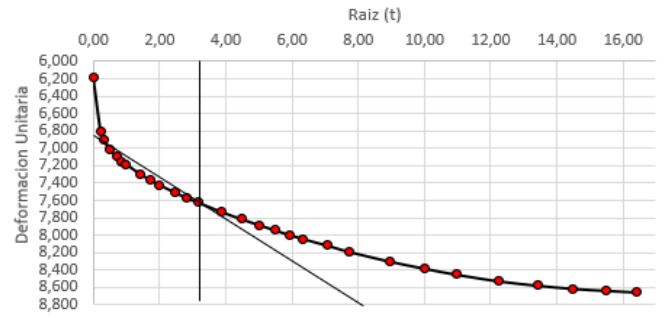
Cargue 2 Kg



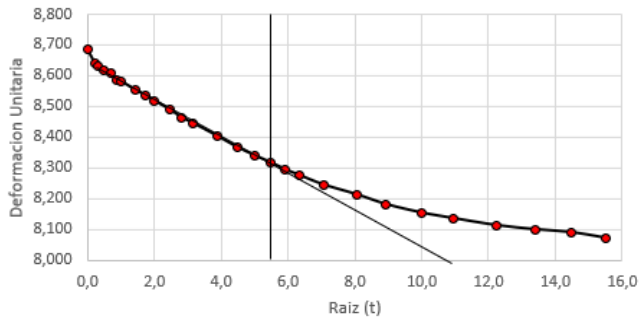
Cargue 4 Kg



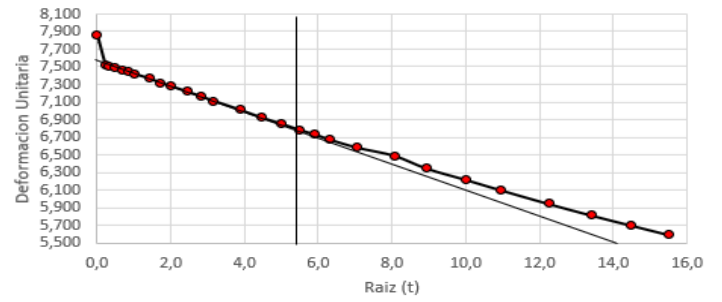
Cargue 8 Kg



Descargue

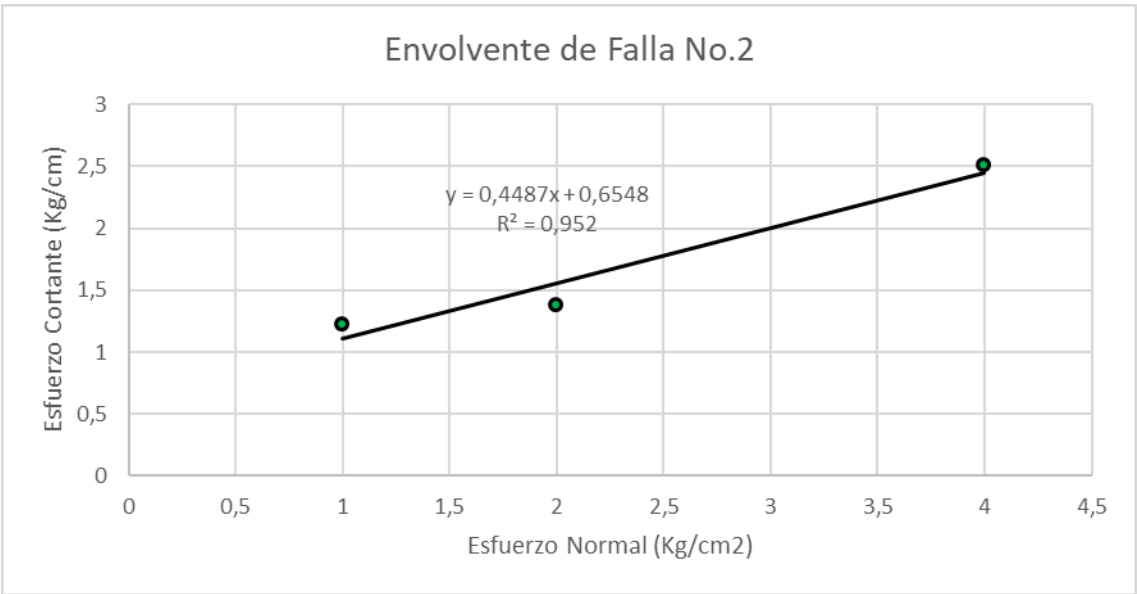
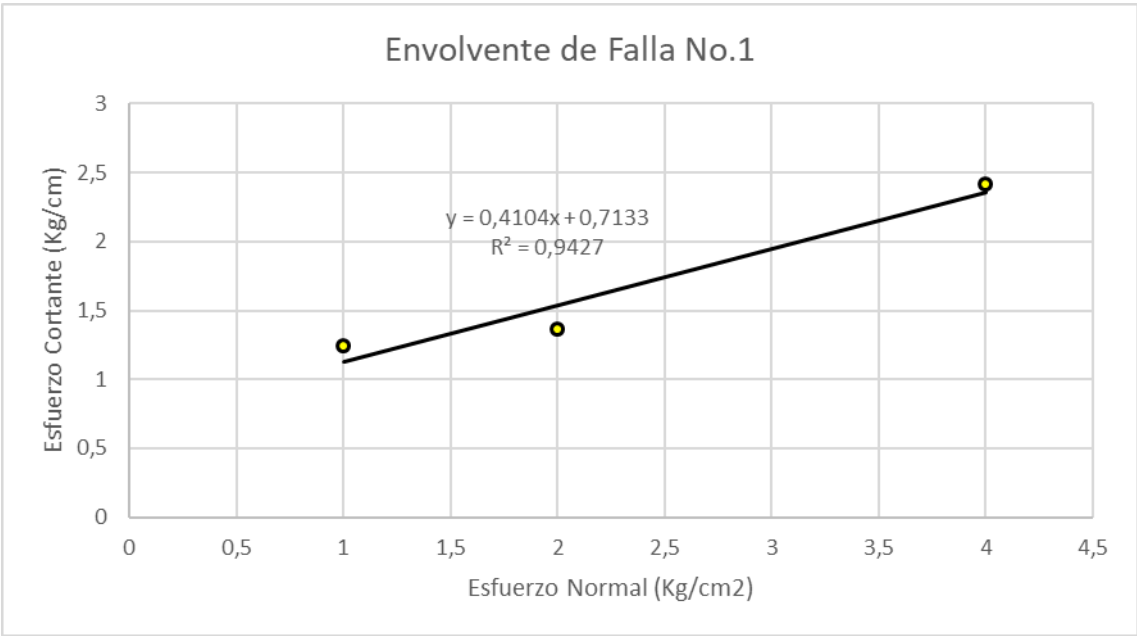


Descargue

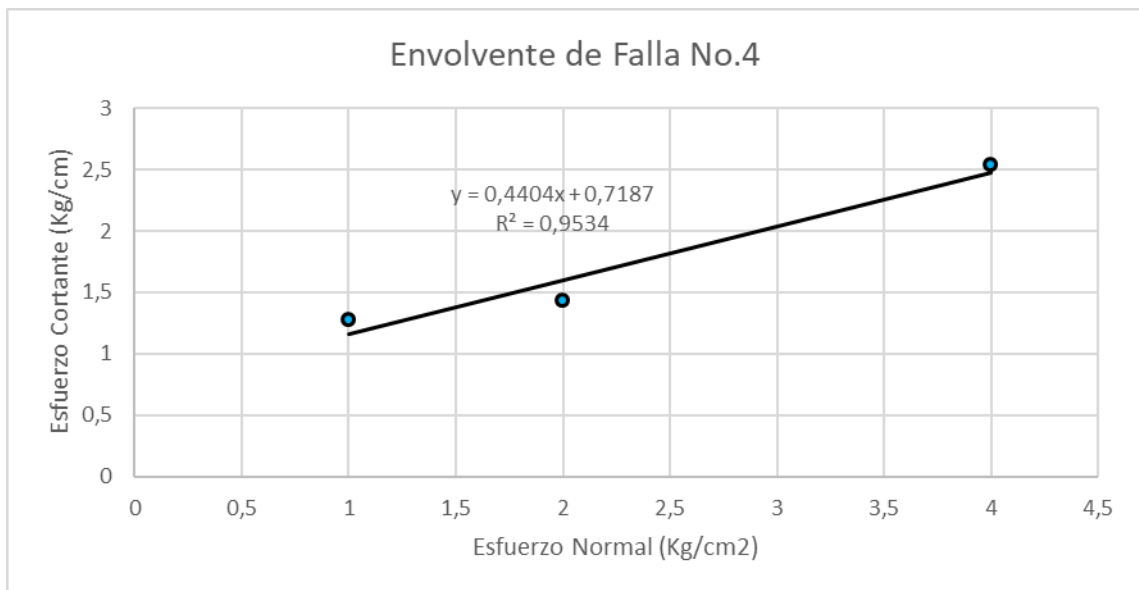
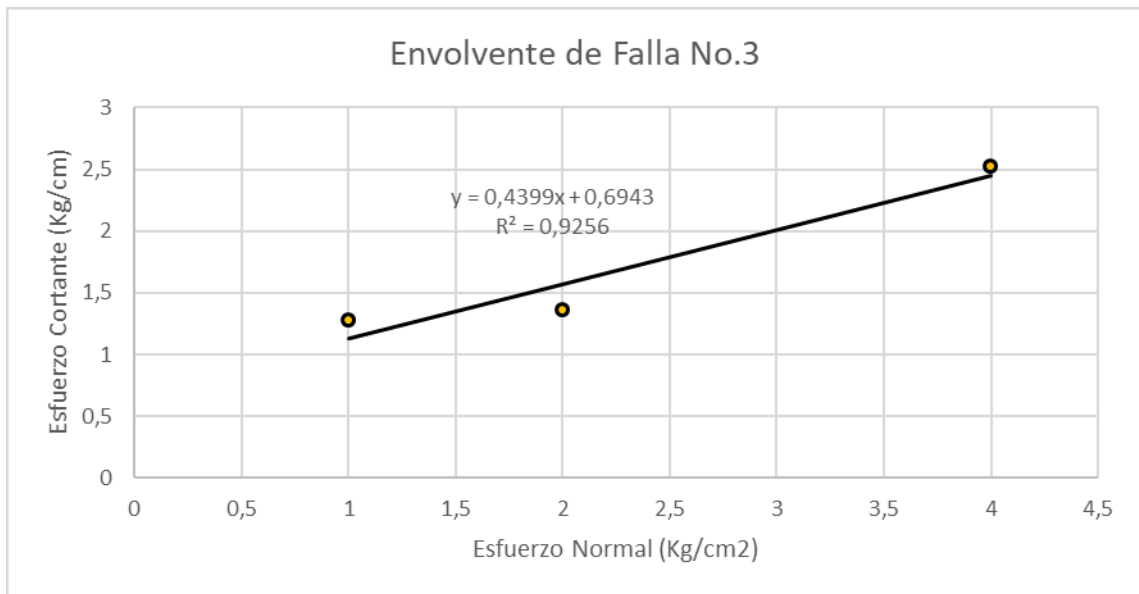



13.11 ANEXO CORTE DIRECTO


UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA		ENSAYO DE CORTE DIRECTO		INV E-154-13											
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores		Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Naras Poveda											
Ensayo No. 1		Fecha		19 de Junio 2019											
Humedad	Inicial	Final													
No Capsula	61	20	Velocidad del ensayo (mm/min) 0.33333												
Peso Capsula (g)	21.69	18.14	Altura (cm) 2												
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	64.40	103.2	Carga Normal (kg/cm ²) 1.74												
Peso Capsula + Suelo seco (g)	58.40	90.94	Area (cm ²) 32.17												
Peso del agua	6.00	12.26	Peso anillo + muestra (g) 83.7												
Peso Suelo seco (g)	36.71	72.80	Peso anillo 2 (g) 65.6												
Contenido Humedad (%)	16.34	16.84	Peso anillo 3 (g) 86.2												
Carga Normal (kg)	1		2		4										
Estuerzo Normal (kg/cm ²)	0.311		0.620		1.240										
Tiempo (min)	Lectura de formimetro horizontal (cm)	Area Conegida	Estuerzo Normal	Fuerza de corte	Estuerzo Corriente	Tiempo (min)	Estuerzo Corriente	Fuerzate corte	Estuerzo Normal	Area Conegida	Lectura del formimetro horizontal (cm)	Tiempo (min)	Estuerzo Corriente	Fuerzate corte	Estuerzo Corriente
0.08	0.000	32.170	0.081	0.785	0.0941	0.08	0.000	0.827	0.0817	32.170	0.000	0.08	0.063	0.857	0.000
0.25	0.000	32.170	0.081	1.020	0.0970	0.25	0.000	0.938	0.0817	32.170	0.000	0.25	0.063	1.020	0.063
0.5	0.001	32.170	0.081	1.397	0.0493	0.5	0.001	1.020	0.0817	32.170	0.000	0.5	0.063	1.020	0.063
1	0.001	32.170	0.081	2.325	0.0727	1	0.003	1.61	0.0817	32.170	0.000	1	0.063	1.61	0.063
2	0.009	32.169	0.081	3.620	0.1153	2	0.005	1.24	0.0817	32.169	0.001	2	0.063	1.24	0.063
3	0.009	32.168	0.081	4.813	0.1462	3	0.009	1.61	0.0817	32.169	0.003	3	0.063	1.61	0.063
4	0.030	32.167	0.081	5.976	0.1857	4	0.011	1.87	0.0817	32.169	0.004	4	0.063	1.87	0.063
7	0.005	32.161	0.081	11.808	0.3676	7	0.019	2.52	0.0817	32.168	0.001	7	0.063	2.52	0.063
10	0.015	32.158	0.081	14.867	0.4632	10	0.024	3.33	0.0817	32.168	0.001	10	0.063	3.33	0.063
13	0.016	32.153	0.081	19.966	0.6206	13	0.030	4.74	0.0817	32.167	0.003	13	0.063	4.74	0.063
16	0.029	32.149	0.081	23.515	0.7343	16	0.036	6.16	0.0817	32.166	0.003	16	0.063	6.16	0.063
19	0.049	32.145	0.081	27.594	0.8904	19	0.040	8.03	0.0818	32.166	0.003	19	0.063	8.03	0.063
22	0.089	32.141	0.081	30.653	0.9369	22	0.045	10.78	0.0818	32.165	0.003	22	0.063	10.78	0.063
25	0.096	32.130	0.081	32.549	1.0130	25	0.052	14.66	0.0818	32.165	0.003	25	0.063	14.66	0.063
28	0.046	32.126	0.081	34.589	1.0765	28	0.060	19.20	0.0818	32.164	0.003	28	0.063	19.20	0.063
31	0.046	32.121	0.081	36.628	1.1401	31	0.068	24.73	0.0818	32.163	0.003	31	0.063	24.73	0.063
34	0.057	32.114	0.081	37.291	1.1620	34	0.076	31.43	0.0818	32.162	0.003	34	0.063	31.43	0.063
37	0.059	32.110	0.081	37.801	1.1772	37	0.084	39.06	0.0819	32.161	0.003	37	0.063	39.06	0.063
40	0.067	32.107	0.081	38.617	1.2024	40	0.093	47.59	0.0819	32.161	0.003	40	0.063	47.59	0.063
43	0.049	32.105	0.081	39.208	1.2225	43	0.100	58.94	0.0819	32.160	0.003	43	0.063	58.94	0.063
46	0.069	32.100	0.081	39.620	1.2469	46	0.109	73.94	0.0819	32.159	0.003	46	0.063	73.94	0.063
49	0.079	32.095	0.081	39.884	1.2772	49	0.118	91.61	0.0819	32.158	0.003	49	0.063	91.61	0.063
52	0.068	32.084	0.081	37.580	1.1700	52	0.126	112.85	0.0819	32.157	0.003	52	0.063	112.85	0.063
						55	0.135	140.85	0.0820	32.156	0.003	55	0.063	140.85	0.063
						58	0.143	178.56	0.0820	32.155	0.003	58	0.063	178.56	0.063
						61	0.153	228.14	0.0820	32.155	0.003	61	0.063	228.14	0.063
						64	0.162	289.26	0.0820	32.154	0.003	64	0.063	289.26	0.063
						67	0.171	363.75	0.0820	32.153	0.003	67	0.063	363.75	0.063
						70	0.180	454.81	0.0820	32.152	0.003	70	0.063	454.81	0.063
						73	0.189	565.11	0.0821	32.151	0.003	73	0.063	565.11	0.063



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA		ENSAYO DE CORTE DIRECTO		INVE - 154 -13												
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores		Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Navas Poveda												
Ensayo No. 2		Fecha		19 de Junio 2019												
Humedad		Inicial	Final	Velocidad del ensayo (mm/min)		Peso anillo + muestra (g)		Peso anillo + muestra (g)		Peso anillo + muestra (g)		Carga Normal (kg/cm2)		Carga Normal (kg)		
No Capsula	61	20	6.3	Diametro (cm)	6.3	0.33333										
Peso Capsula (g)	21.69	18.14	1.9	Altura (cm)	1.9	1.74										
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	64.40	103.2	31.17	Area (cm2)	31.17											
Peso Capsula + Suelo seco (g)	58.40	90.94														
Peso del agua	6.00	12.26	82.4	Peso anillo 1 (g)	82.4	221.82										
Peso Suelo seco (g)	36.71	72.80	65.4	Peso anillo 2 (g)	65.4	228.76										
Contenido Humedad (%)	36.34	36.84	85.32	Peso anillo 3 (g)	85.32	236.23										
Carga Normal (kg)	0.0821		1		2		3		4		5		6		7	
Esfuerzo Normal (kg/cm2)	0.0821		0.0842		0.0862		0.0883		0.0903		0.0923		0.0943		0.0963	
Tiempo (min)	Area Corregida	Esfuerzo Normal	Fuerza de corte	Esfuerzo Cortante	Tiempo (min)	Lectura de formimetro horizontal (cm)	Area Corregida	Esfuerzo Normal	Fuerza de corte	Esfuerzo Cortante	Tiempo (min)	Lectura de formimetro horizontal (cm)	Area Corregida	Esfuerzo Normal	Fuerza de corte	Esfuerzo Cortante
0.08	31.154	0.08210	4.956	0.159	0.08	0.029	31.147	0.06421	1.855	0.060	0.08	0.000	31.173	0.12832	0.031	0.001
0.25	31.152	0.08210	9.524	0.306	0.25	0.0296	31.143	0.06422	3.288	0.106	0.25	0.000	31.173	0.12832	0.173	0.006
0.5	31.149	0.08210	16.020	0.514	0.5	0.0326	31.140	0.06423	5.754	0.185	0.5	0.000	31.173	0.12832	0.918	0.029
1	31.144	0.08211	20.557	0.660	1	0.0355	31.137	0.06423	7.842	0.252	1	0.000	31.172	0.12832	2.600	0.083
2	31.138	0.08212	23.943	0.769	2	0.0394	31.133	0.06424	9.422	0.303	2	0.001	31.172	0.12832	5.568	0.179
3	31.131	0.08212	26.604	0.855	3	0.0444	31.128	0.06425	15.133	0.486	3	0.001	31.171	0.12832	9.116	0.292
4	31.124	0.08213	28.685	0.922	4	0.0501	31.122	0.06426	19.191	0.617	4	0.002	31.170	0.12833	12.053	0.387
7	31.116	0.08214	29.949	0.963	7	0.0560	31.117	0.06427	22.842	0.734	7	0.007	31.166	0.12834	19.160	0.615
10	31.106	0.08215	30.867	0.992	10	0.0626	31.110	0.06429	25.993	0.836	10	0.011	31.162	0.12836	24.524	0.787
13	31.094	0.08216	31.591	1.016	13	0.0705	31.102	0.06430	28.787	0.926	13	0.016	31.156	0.12839	29.337	0.942
16	31.088	0.08217	31.968	1.028	16	0.0792	31.093	0.06432	31.417	1.000	16	0.022	31.150	0.12841	34.018	1.092
19	31.078	0.08218	32.205	1.039	19	0.0870	31.086	0.06434	33.538	1.079	19	0.029	31.144	0.12844	38.382	1.232
22	31.069	0.08219	33.496	1.076	22	0.0954	31.077	0.06436	35.517	1.143	22	0.035	31.137	0.12846	42.481	1.364
25	31.061	0.08219	34.172	1.100	25	0.1010	31.072	0.06437	37.322	1.201	25	0.042	31.131	0.12849	45.795	1.471
28	31.051	0.08220	35.204	1.134	28	0.1113	31.061	0.06439	38.892	1.252	28	0.049	31.124	0.12852	49.038	1.576
31	31.041	0.08222	36.268	1.168	31	0.1198	31.053	0.06441	40.330	1.299	31	0.056	31.116	0.12855	53.168	1.709
34	31.032	0.08222	36.835	1.187	34	0.1286	31.044	0.06442	41.625	1.341	34	0.064	31.109	0.12858	57.063	1.834
37	31.022	0.08224	37.844	1.220	37	0.1373	31.035	0.06444	42.757	1.378	37	0.072	31.101	0.12861	60.785	1.954
40	31.012	0.08225	38.873	1.189	40	0.1464	31.026	0.06446	42.555	1.372	40	0.079	31.093	0.12865	64.334	2.069
43	30.994	0.08226	36.241	1.169	43	0.1557	31.016	0.06448	42.343	1.365	43	0.088	31.085	0.12868	68.301	2.197
46					46						46	0.095	31.077	0.12871	71.747	2.309
49					49						49	0.103	31.069	0.12874	74.857	2.409
52					52						52	0.112	31.061	0.12878	77.896	2.508
55					55						55	0.119	31.053	0.12881	75.949	2.443
58					58						58	0.128	31.045	0.12885	73.849	2.379
61					61						61	0.136	31.036	0.12888	71.608	2.307



		ENSAYO DE CORTE DIRECTO		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores										
		INVE - 154 -13		Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Navas Poveda		19 de Junio 2019										
Ensayo No. 3		Fecha		Ensayo No. 3		Fecha										
Humedad		Inicial	Final	Velocidad del ensayo (mm/min)		0.33333										
No Capsula		61	20	Diámetro (cm)		6.2										
Peso Capsula (g)		21.69	18.14	Altura (cm)		1.9										
Peso Capsula + Suelo humedo (g)		64.40	103.2	Area (cm ²)		30.19										
Peso Capsula + Suelo seco (g)		58.40	90.94													
Peso del agua		6.00	12.26	Peso anillo 1 (g)		83.4										
Peso Suelo seco (g)		36.71	72.80	Peso anillo 2 (g)		65.43										
Contenido Humedad (%)		16.34	16.84	Peso anillo 3 (g)		86.47										
Carga Normal (kg)				1		4										
Esfuerzo Normal (kg/cm ²)				0.0831		0.1325										
Tempo (min)	Area Corregida	Esfuerzo Normal	Fuerza de corte	Esfuerzo Cortante	Tiempo (min)	lectura deformimetro horizontal	Area Corregida	Esfuerzo Normal	Fuerza de corte	Esfuerzo Cortante	Tiempo (min)	lectura deformimetro horizontal (cm)	Area Corregida	Esfuerzo Normal	Fuerza de corte	Esfuerzo Cortante
0.08	30.191	0.0312	0.337	0.011	0.08	0.000	30.191	0.06625	0.377	0.012	0.08	0.000	30.191	0.13249	1.091	0.086
0.25	30.186	0.0313	0.449	0.015	0.25	0.000	30.191	0.06625	0.816	0.027	0.25	0.001	30.191	0.13249	1.846	0.061
0.5	30.177	0.0314	0.551	0.008	0.5	0.005	30.190	0.06625	1.132	0.037	0.5	0.0074	30.183	0.13252	2.804	0.083
1	30.159	0.0316	0.714	0.024	1	0.0015	30.188	0.06625	2.019	0.067	1	0.0087	30.172	0.13257	3.855	0.205
2	30.121	0.0320	0.989	0.033	2	0.0031	30.188	0.06625	3.997	0.132	2	0.0283	30.162	0.13262	5.943	0.194
3	30.180	0.0313	1.132	0.037	3	0.0053	30.185	0.06626	5.425	0.180	3	0.0374	30.153	0.13266	8.229	0.173
4	30.175	0.0314	1.397	0.046	4	0.0071	30.184	0.06626	6.557	0.217	4	0.0476	30.143	0.13270	12.196	0.405
7	30.165	0.0315	3.620	0.120	7	0.0141	30.177	0.06628	9.290	0.308	7	0.0575	30.133	0.13274	15.092	0.301
10	30.158	0.0316	7.515	0.249	10	0.0214	30.169	0.06629	11.778	0.390	10	0.0681	30.123	0.13279	17.996	0.394
13	30.152	0.0317	10.411	0.345	13	0.0288	30.162	0.06631	15.031	0.498	13	0.0784	30.112	0.13284	21.037	0.689
16	30.145	0.0317	13.216	0.438	16	0.0357	30.155	0.06632	18.304	0.607	16	0.0848	30.106	0.13286	24.687	0.820
19	30.139	0.0318	15.948	0.528	19	0.0430	30.148	0.06634	21.445	0.711	19	0.0927	30.098	0.13290	27.420	0.911
22	30.132	0.0319	19.701	0.653	22	0.0509	30.140	0.06636	24.310	0.807	22	0.1015	30.089	0.13294	29.572	0.988
25	30.125	0.0319	23.086	0.765	25	0.0592	30.132	0.06638	26.941	0.894	25	0.1101	30.081	0.13298	31.999	1.064
28	30.118	0.0320	26.258	0.870	28	0.0678	30.123	0.06639	29.368	0.975	28	0.1187	30.072	0.13301	34.701	1.154
31	30.112	0.0321	28.419	0.941	31	0.0763	30.114	0.06641	31.591	1.049	31	0.1281	30.063	0.13306	38.352	1.276
34	30.103	0.0322	32.233	1.068	34	0.0847	30.106	0.06643	33.702	1.119	34	0.1355	30.055	0.13309	41.941	1.395
37	30.094	0.0323	35.007	1.160	37	0.0931	30.098	0.06645	35.751	1.188	37	0.1424	30.048	0.13312	46.132	1.535
40	30.091	0.0323	38.192	1.278	40	0.1016	30.089	0.06647	37.087	1.233	40	0.1495	30.041	0.13315	50.609	1.685
43	30.081	0.0324	37.084	1.228	43	0.1104	30.080	0.06649	39.208	1.333	43	0.1584	30.034	0.13318	55.014	1.822
46	30.074	0.0325	36.087	1.195	46	0.1189	30.072	0.06651	40.940	1.388	46	0.1626	30.028	0.13321	59.460	1.980
49	30.057	0.0327	34.479	1.142	49	0.1281	30.063	0.06653	40.291	1.340	49	0.1697	30.021	0.13324	63.691	2.122
					52	0.1387	30.052	0.06655	39.181	1.304	52	0.1769	30.014	0.13327	67.648	2.254
											55	0.1829	30.008	0.13330	71.676	2.389
											58	0.1919	29.999	0.13334	75.775	2.526
											61	0.1993	29.991	0.13337	79.229	2.442
											64	0.2077	29.983	0.13341	71.953	2.400

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA		ENSAYO DE CORTE DIRECTO		INVE - 154 - 13													
		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores		Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Navas Poveda											
		Ensayo No. 4		Fecha		19 de Junio 2019											
Humedad		Inicial	Final														
No Capsula	61	20	Diametro (cm)	6.3	Velocidad del ensayo (mm/min)	0.33333											
Peso Capsula (g)	21.69	18.14	Altura (cm)	1.9	Carga Normal (kg/cm2)	1.2.4											
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	64.40	103.2	Area (cm2)	31.17													
Peso Capsula + Suelo seco (g)	58.40	90.94															
Peso del agua	6.00	12.26	Peso anillo 1 (g)	88.2	Peso anillo + muestra (g)	210.53											
Peso Suelo seco (g)	36.71	72.80	Peso anillo 2 (g)	65.21	Peso anillo + muestra (g)	219.56											
Contenido Humedad (%)	16.34	16.84	Peso anillo 3 (g)	85.32	Peso anillo + muestra (g)	228.34											
Carga Normal (kg)	1		2		4												
Esfuerzo Normal (kg/cm2)		0.0321		0.0642		0.1283											
Tiempo (min)	Lectura deformimetro horizontal (cm)	Area Corregida	Esfuerzo Normal	Fuerza de corte	Esfuerzo Cortante	Tiempo (min)	Lectura deformimetro horizontal (cm)	Area Corregida	Esfuerzo Normal	Fuerza de corte	Esfuerzo Cortante	Tiempo (min)	Lectura deformimetro horizontal (cm)	Area Corregida	Esfuerzo Normal	Fuerza de corte	Esfuerzo Cortante
0.08	0.074	31.155	0.0210	5.160	0.166	0.08	0.042	31.158	0.0419	7.4	0.239	0.08	0.0235	31.149	0.12841	2.804	0.090
0.25	0.0280	31.145	0.0211	8.535	0.274	0.25	0.0201	31.152	0.0420	9.2	0.295	0.25	0.0346	31.138	0.12846	3.739	0.122
0.5	0.0310	31.142	0.0211	16.560	0.532	0.5	0.0259	31.147	0.0421	12.5	0.402	0.5	0.0444	31.128	0.12850	5.945	0.191
1	0.0366	31.136	0.0212	20.904	0.671	1	0.0318	31.141	0.0422	15.7	0.503	1	0.0536	31.119	0.12854	8.229	0.264
2	0.0424	31.130	0.0212	23.627	0.759	2	0.0385	31.134	0.0424	19.0	0.608	2	0.0630	31.110	0.12858	10.411	0.335
3	0.0497	31.123	0.0213	26.431	0.849	3	0.0455	31.127	0.0425	22.3	0.714	3	0.0682	31.104	0.12860	14.857	0.478
4	0.0559	31.116	0.0214	28.715	0.923	4	0.0500	31.120	0.0427	25.6	0.822	4	0.0718	31.101	0.12861	19.568	0.629
7	0.0645	31.108	0.0215	31.183	1.002	7	0.0606	31.112	0.0428	29.0	0.931	7	0.0826	31.090	0.12866	29.541	0.950
10	0.0725	31.100	0.0215	33.294	1.071	10	0.0680	31.105	0.0430	32.3	1.056	10	0.0878	31.085	0.12868	34.935	1.124
13	0.0816	31.091	0.0216	34.905	1.123	13	0.0757	31.097	0.0432	35.6	1.144	13	0.0935	31.073	0.12870	41.360	1.311
16	0.0911	31.081	0.0217	36.332	1.169	16	0.0842	31.088	0.0433	38.8	1.246	16	0.0991	31.073	0.12873	47.570	1.531
19	0.1001	31.072	0.0218	37.536	1.208	19	0.0920	31.081	0.0435	41.9	1.345	19	0.1063	31.066	0.12876	53.137	1.710
22	0.1097	31.063	0.0219	38.382	1.236	22	0.0997	31.073	0.0436	44.6	1.431	22	0.1139	31.059	0.12879	58.256	1.876
25	0.1184	31.054	0.0220	39.065	1.258	25	0.1079	31.065	0.0438	46.6	1.508	25	0.1214	31.051	0.12882	62.764	2.021
28	0.1277	31.045	0.0221	39.473	1.271	28	0.1163	31.056	0.0440	47.7	1.538	28	0.1290	31.044	0.12885	67.311	2.168
31	0.142	31.030	0.0223	37.447	1.207	31		31.036				31	0.1366	31.036	0.12888	71.339	2.299
34	0.1488	31.024	0.0223	36.291	1.170	34		31.023				34	0.1499	31.023	0.12894	75.194	2.424
						37		31.020				37	0.1523	31.020	0.12895	78.681	2.516
						40		31.013				40	0.1599	31.013	0.12898	75.981	2.450
						43		31.004				43	0.1684	31.004	0.12902	74.326	2.397

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA		ENSAIO DE CORTE DIRECTO		INVE - 154 - 13													
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		Autores		Ricardo Andres Silva Hernandez Jhoan Sebastian Navas Povoda													
Ensayo No. 5		Fecha		19 de Junio 2019													
Humedad	Inicial	Final															
No Capsula	64	25	Diámetro (cm)	6,2	Velocidad del ensayo (mm/min)	0,33333											
Peso Capsula (g)	22,49	19,04	Altura (cm)	2,0	Carga Normal (kg/cm ²)	1,24											
Peso Capsula + Suelo humedo (g)	65,30	103,8	Area (cm ²)	30,19													
Peso Capsula + Suelo seco (g)	59,10	91,64															
Peso del agua	6,20	12,16	Peso anillo 1 (g)	82,9	Peso anillo + muestra (g)	210,89											
Peso Suelo seco (g)	36,61	72,60	Peso anillo 2 (g)	64,9	Peso anillo + muestra (g)	211,76											
Contenido Humedad (%)	16,94	16,75	Peso anillo 3 (g)	85,33	Peso anillo + muestra (g)	239,02											
Carga Normal (kg)	1		2														
Esfuerzo Normal (kg/cm ²)	0,0331		0,0662														
Tiempo (min)	Lectura de forminetro horizontal (cm)	Area Correjada	Esfuerzo Normal	Fuerza de corte	Esfuerzo Cortante	Tiempo (min)	Lectura de forminetro horizontal (cm)	Area Correjada	Esfuerzo Normal	Fuerza de corte	Esfuerzo Cortante	Tiempo (min)	Lectura de forminetro horizontal (cm)	Area Correjada	Esfuerzo Normal	Fuerza de corte	Esfuerzo Cortante
0,08	0,0214	30,169	0,03315	5,466	0,181	0,08	0,072	30,174	0,06628	7,727	0,256	0,08	0,055	30,137	0,13273	2,876	0,095
0,25	0,0220	30,159	0,03316	8,484	0,281	0,25	0,0231	30,168	0,06630	10,044	0,333	0,25	0,046	30,126	0,13277	4,028	0,134
0,5	0,0350	30,156	0,03316	15,328	0,508	0,5	0,0289	30,162	0,06631	12,479	0,413	0,5	0,0744	30,116	0,13282	6,098	0,202
1	0,0406	30,150	0,03317	20,941	0,881	1	0,0248	30,156	0,06632	14,707	0,487	1	0,0836	30,107	0,13286	8,300	0,276
2	0,0464	30,144	0,03317	23,918	0,793	2	0,0415	30,149	0,06634	19,194	0,636	2	0,0930	30,098	0,13290	10,483	0,348
3	0,0537	30,137	0,03318	25,921	0,860	3	0,0485	30,142	0,06635	21,440	0,733	3	0,0982	30,093	0,13292	14,929	0,496
4	0,0609	30,130	0,03319	28,103	0,993	4	0,0560	30,135	0,06637	25,738	0,853	4	0,1018	30,089	0,13294	19,640	0,653
7	0,0685	30,122	0,03320	31,023	1,080	7	0,0656	30,127	0,06639	28,073	0,950	7	0,1126	30,078	0,13299	29,613	0,985
10	0,0765	30,114	0,03321	33,365	1,108	10	0,0710	30,120	0,06640	31,703	1,050	10	0,1178	30,073	0,13301	35,007	1,164
13	0,0856	30,105	0,03322	34,158	1,135	13	0,0787	30,112	0,06642	35,252	1,168	13	0,1235	30,067	0,13303	41,481	1,378
16	0,0951	30,096	0,03323	35,438	1,178	16	0,0872	30,104	0,06644	38,739	1,283	16	0,1291	30,062	0,13306	47,641	1,585
19	0,1041	30,087	0,03324	36,547	1,215	19	0,0950	30,096	0,06645	40,653	1,393	19	0,1363	30,054	0,13309	53,209	1,770
22	0,1137	30,077	0,03325	34,375	1,143	22	0,1027	30,088	0,06647	44,409	1,471	22	0,1439	30,047	0,13313	58,375	1,943
25	0,1224	30,068	0,03326	33,164	1,103	25	0,1109	30,080	0,06649	40,583	1,410	25	0,1514	30,039	0,13316	62,885	2,092
						28	0,1193	30,071	0,06651	41,730	1,382	28	0,1590	30,032	0,13319	67,383	2,244
						31						31	0,1666	30,024	0,13323	71,411	2,378
						34						34	0,1799	30,011	0,13329	75,265	2,508
						37						37	0,1823	30,008	0,13330	73,868	2,461
						40						40	0,1899	30,001	0,13333	72,942	2,431
						43						43	0,1984	29,992	0,13337	72,719	2,408

Envolvente de Falla No.5

