

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO – HIDRÁULICO Y
CLASIFICACIÓN DE UN SUELO CON CONTENIDO DE RADIOLARIOS EN LA
ZONA DEL VALLE DE UBATÉ**

JEISSON STEVEN CORREDOR REY

CÓDIGO: 505237

HENRY LEONARDO OLAYA GONZALEZ

CÓDIGO: 505198

Trabajo de investigación

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2018

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO – HIDRÁULICO Y
CLASIFICACIÓN DE UN SUELO CON CONTENIDO DE RADIOLARIOS EN LA
ZONA DEL VALLE DE UBATÉ**

JEISSON STEVEN CORREDOR REY

CÓDIGO: 505237

HENRY LEONARDO OLAYA GONZALEZ

CÓDIGO: 505198

Trabajo de investigación

**Docente asesor Ing. Carlos José Slebi Acevedo
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.**

2018



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución 2.5 Colombia (CC BY 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by/2.5/co/>

Usted es libre de:

- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
- hacer obras derivadas
- hacer un uso comercial de esta obra



Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 22, Mayo, 2018

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES	16
1.1 ANTECEDENTES.....	16
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2.1 Descripción del problema.....	18
1.2.2 Formulación del problema.....	18
1.3 OBJETIVOS.....	19
1.3.1 Objetivo General	19
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	20
1.5 DELIMITACIÓN	20
1.5.1 Contenido.....	20
1.5.2 Espacio y Alcance.....	20
1.5.3 Tiempo	21
1.6 MARCO DE REFERENCIA.....	21
1.6.1 Marco Teórico	21
1.6.1 Marco Conceptual.....	24
1.6.2 Marco Legal	27
1.7 METODOLOGÍA	28
1.7.1 Descripción de ensayos de laboratorio	31
2. RECOLECCIÓN DE MUESTRA	53
2.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA ENSAYOS	55
3. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB).....	56
3.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	56
3.2 DESARROLLO DEL ENSAYO.....	56
3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	57
3.4 FORMAS ENCONTRADAS EN LA MICROSCOPIA	60

4. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.....	62
4.1 DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DEL SUELO	62
4.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO	63
4.3 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO DE LOS SUELOS ...	66
4.3.1 Método con cazuela de Casagrande	66
4.3.2 Método con cono de penetración por caída	67
4.4 COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS.....	73
4.5 ENSAYO DE CORTE DIRECTO I.N.V. E – 154 – 13	81
4.6 CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS I.N.V. E – 151 -13	96
5. RESUMEN DE RESULTADOS.....	124
6. CONCLUSIONES	129
7. RECOMENDACIONES.....	130
8. BIBLIOGRAFÍA.....	131

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Diseño Metodológico.....	30
Tabla 2. Masa mínima de los especímenes de ensayo según INV 122-13.....	35
Tabla 3. Porcentaje en peso de elementos en la muestra	58
Tabla 4. Datos ensayo de Humedad Lidita Short.....	62
Tabla 5. Datos ensayo de Humedad Lidita Long	63
Tabla 6. Resultado hidrometría Lidita Long	63
Tabla 7. Resultado hidrometría Lidita Short.....	64
Tabla 8. Límites cazuela de Casagrande	67
Tabla 9. Límite líquido Lidita Long	68
Tabla 10. Límite plástico Lidita Short	69
Tabla 11. Índice de plasticidad Lidita Long	70
Tabla 12. Límite líquido Lidita Short.....	70
Tabla 13. Límite plástico Lidita Short	71
Tabla 14. Índice de plasticidad Lidita Short.....	72
Tabla 15. Contenido de humedad Lidita Long	74
Tabla 16. Datos para compresión inconfiada Lidita Long	74
Tabla 17. Datos deformación - esfuerzo Lidita Long.....	75
Tabla 18. Resistencia a la compresión y corte Lidita Long	77
Tabla 19. Consistencia del suelo según resistencia a la compresión INV E-152-13	77
Tabla 20. Contenido de humedad Lidita Short.....	77
Tabla 21. Datos para compresión inconfiada Lidita Short.....	78
Tabla 22. Datos deformación - esfuerzo Lidita Short	78
Tabla 23. Resistencias del suelo	79
Tabla 24. Datos para corte directo Lidita Long a 0.25.....	81
Tabla 25. % humedad para corte directo Lidita Long a 0,25	82
Tabla 26. Datos de falla muestra Lidita Long a 0,25	83
Tabla 27. Datos corte directo Lidita Long a 0,25.....	83
Tabla 28. Datos para corte directo Lidita Long a 1.0.....	84
Tabla 29. %humedad Lidita Long a 1,0.....	84
Tabla 30. Datos de falla Lidita Long a 1,0.....	84
Tabla 31. Datos corte directo Lidita Long a 1,0.....	85
Tabla 32. Datos para corte directo Lidita Long a 1.5.....	85
Tabla 33. % humedad Lidita Long a 1,5.....	86
Tabla 34. Datos falla Lidita Long a 1,5.....	86
Tabla 35. Datos corte directo Lidita Long a 1,5.....	86
Tabla 36. Datos para corte directo Lidita Short a 0.25	89
Tabla 37. % humedad Lidita Short a 0,25	89

Tabla 38. Datos falla Lidita Short a 0,25	89
Tabla 39. Datos corte directo Lidita Short a 0,25	89
Tabla 40. Datos para corte directo Lidita Short a 1,0.....	90
Tabla 41. % humedad Lidita Short a 1,0.....	91
Tabla 42. Datos falla Lidita Short a 1,0.....	91
Tabla 43. Datos corte directo Lidita Short a 1,0.....	91
Tabla 44. Datos para corte directo Lidita Short a 1,5.....	92
Tabla 45. % humedad Lidita Short a 1,5.....	92
Tabla 46. Datos falla Lidita Short a 1,5.....	93
Tabla 47. Datos corte directo Lidita Short a 1,5.....	93
Tabla 48. Datos iniciales Consolidación Lidita Long.....	96
Tabla 49. Datos Celda de carga Lidita Long.....	97
Tabla 50. Humedad y saturación Lidita Long.....	97
Tabla 51. Compresibilidad Lidita Long.....	97
Tabla 52. Deformación unitaria Lidita Long.....	98
Tabla 53. Coeficiente de consolidación 1kg Lidita Long.....	100
Tabla 54. Lectura deformímetro carga 1kg Lidita Long.....	100
Tabla 55. Coeficiente de consolidación 2kg Lidita Long.....	102
Tabla 56. Lectura deformímetro carga 2kg Lidita Long.....	102
Tabla 57. Coeficiente de consolidación 4kg Lidita Long.....	104
Tabla 58. Lectura deformímetro carga 4kg Lidita Long.....	104
Tabla 59. Coeficiente de consolidación 8kg Lidita Long.....	106
Tabla 60. Lectura deformímetro carga 8kg Lidita Long.....	106
Tabla 61. Coeficiente de consolidación 16kg Lidita Long.....	108
Tabla 62. Lectura deformímetro carga 16kg Lidita Long.....	108
Tabla 63. Datos iniciales Consolidación Lidita Short.....	110
Tabla 64. Datos Celda de carga Lidita Short.....	110
Tabla 65. Humedad y saturación Lidita Short.....	110
Tabla 66. Compresibilidad Lidita Short.....	111
Tabla 67. Deformación unitaria Lidita Short.....	111
Tabla 68. Coeficiente de consolidación 1kg Lidita Short.....	112
Tabla 69. Lectura deformímetro carga 1kg Lidita Short.....	113
Tabla 70. Coeficiente de consolidación 2kg Lidita Short.....	115
Tabla 71. Lectura deformímetro carga 2kg Lidita Short.....	115
Tabla 72. Coeficiente de consolidación 4kg Lidita Short.....	117
Tabla 73. Lectura deformímetro carga 4kg Lidita Short.....	117
Tabla 74. Coeficiente de consolidación 8kg Lidita Short.....	119
Tabla 75. Lectura deformímetro carga 8kg Lidita Short.....	119
Tabla 76. Coeficiente de consolidación 16kg Lidita Short.....	121
Tabla 77. Lectura deformímetro carga 16kg Lidita Short.....	121
Tabla 78. Resumen de resultados de laboratorio.....	124

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Hidrómetro 152H	32
Ilustración 2. Mezcla agente de floculante y agua.....	34
Ilustración 3. Agitadora eléctrica	34
Ilustración 4. Equipo para ensayo de Humedad	36
Ilustración 5. Peso de muestra húmeda.....	36
Ilustración 6. Esquema del ensayo del corte (a) sencillo y (b) del corte doble.	38
Ilustración 7. Caja de corte directo.....	39
Ilustración 8. Montaje de muestra corte directo.....	40
Ilustración 9. Consolidómetro para ensayo	41
Ilustración 10. Consolidómetro para ensayo	42
Ilustración 11. Cazuela de Casa Grande	44
Ilustración 12. Muestra después de accionar la cazuela.....	46
Ilustración 13. Recolección de muestra	46
Ilustración 14. Molde de rolo manual Limites de Attemberg.....	47
Ilustración 15. Medición diámetro requerido	48
Ilustración 16. Penetrómetro cónico.....	49
Ilustración 17. Toma de dimensiones de la muestra para compresión inconfina- da.....	51
Ilustración 18. Proceso de falla para muestra de compresión inconfina- da.....	52
Ilustración 19. Muestra Chert Long Fuente: autoría propia	53
Ilustración 20. Muestra Chert Short Fuente: autoría propia	53
Ilustración 21. Localización zona extracción en Tausa. Fuente: Google Earth	54
Ilustración 22. Sitio de extracción de muestras. Fuente: Google Earth.....	54
Ilustración 23. Trituración manual de muestras Fuente: Autoría propia	55
Ilustración 24. Muestras con recubrimiento oro. Fuente: autoría propia.....	56
Ilustración 25. Equipo MEB. Fuente: autoría propia.....	57
Ilustración 26. Picos de contenido de elementos Lidita Short. Fuente: Laboratorio de microscopía.....	58
Ilustración 27. Picos de contenido de elementos Lidita Long. Fuente: Laboratorio de microscopía.....	58
Ilustración 28. Resultado de microscopía Lidita short. Fuente: Laboratorio de microscopía.....	60
Ilustración 29. Resultado de microscopía Lidita Long. Fuente: Laboratorio de microscopía.....	60
Ilustración 30. Radiolarios óseos. Fuente: RADIOLARIA (PROTOZOA, ACTINOPODA) SEDIMENTED FROM THE CALDERA PORT (27°04' S; 70°51' W), CHILE.....	61
Ilustración 31. Granulometría Lidita Long	64
Ilustración 32. Granulometría Lidita Short.....	65

Ilustración 33. Comparación granulometría	66
Ilustración 34. Límite líquido Lidita Long.....	68
Ilustración 35. Límite plástico Lidita Short.....	69
Ilustración 36. Límite líquido Lidita Short	71
Ilustración 37. Límite plástico Lidita Short.....	72
Ilustración 38. Cartilla clasificación suelos.....	73
Ilustración 39. Grafico deformación - esfuerzo Lidita Long	76
Ilustración 40. Gráfico deformación - esfuerzo Lidita Short	79
Ilustración 41. Deformación - esfuerzo Lidita Short vs Long.....	80
Ilustración 42. Esfuerzo cortante vs deformación Lidita Long	87
Ilustración 43. Esfuerzo normal vs deformación Lidita Long	88
Ilustración 44. Esfuerzo cortante vs deformación Lidita Short	94
Ilustración 45. Esfuerzo normal vs deformación Lidita Short	94
Ilustración 46. Esfuerzo normal vs Esfuerzo cortante resumen	95
Ilustración 47. Curva de compresibilidad Lidita Long.....	99
Ilustración 48. Gráfica de Taylor 1 kg Lidita Long	101
Ilustración 49. Gráfica de Casagrande 1kg Lidita Long	101
Ilustración 50. Gráfica de Taylor 2 kg Lidita Long	103
Ilustración 51. Gráfica de Casagrande 2kg Lidita Long.....	103
Ilustración 52. Gráfica de Taylor 4 kg Lidita Long	105
Ilustración 53. Gráfica de Casagrande 4kg Lidita Long.....	105
Ilustración 54. Gráfica de Taylor 8 kg Lidita Long	107
Ilustración 55. Gráfica de Casagrande 8kg Lidita Long.....	107
Ilustración 56. Gráfica de Taylor 16 kg Lidita Long	109
Ilustración 57. Gráfica de Casagrande 16kg Lidita Long.....	109
Ilustración 58. Curva de compresibilidad Lidita Short	112
Ilustración 59. Gráfica de Taylor 1kg Lidita Short	114
Ilustración 60. Gráfica de Casagrande 1kg Lidita Short.....	114
Ilustración 61. Gráfica de Taylor 2 kg Lidita Short	116
Ilustración 62. Gráfica de Casagrande 2kg Lidita Short.....	116
Ilustración 63. Gráfica de Taylor 4 kg Lidita Short	118
Ilustración 64. Gráfica de Casagrande 4kg Lidita Short.....	118
Ilustración 65. Gráfica de Taylor 8 kg Lidita Short	120
Ilustración 66. Gráfica de Casagrande 8kg Lidita Short.....	120
Ilustración 67. Gráfica de Taylor 16 kg Lidita Short.....	122
Ilustración 68. Gráfica de Casagrande 16kg Lidita Short.....	122
Ilustración 69. Cv vs Esfuerzo.....	123

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de grado se estudiará las características físico-mecánicas de suelos con contenido de radiolarios, los cuales se forma por la sedimentación de los esqueletos silícicos. Estos son microorganismos que viven en las aguas superficiales del mar, cuando mueren caen al fondo del mar, se acumulan y forman el cieno o lodo de radiolarios y en él los esqueletos de ópalo se transforman en agregados de micro cristales de cuarzo. (UCL Microfossil Image Recovery And Circulation, 2002).

El estudio correspondiente a las liditas las cuales han sido investigadas y encontradas en zonas puntuales de la sabana de Bogotá y en cantidades representativas, facilita el determinar su identificación para evaluarlas y posteriormente, desarrollar el presente proyecto de investigación en cumplimiento de los objetivos planteados.

Específicamente se realizará el análisis de liditas mediante una técnica capaz de producir imágenes de alta resolución de la superficie de la muestra y que permite que se pueda examinar las características más ínfimas de ésta con gran amplificación que se llama microscopia electrónica de barrido (MEB). Se determinará su estructura molecular y con base a esto, se realizará la caracterización de dicho material. Posteriormente se desarrollará distintos ensayos de laboratorio de los que se obtendrá los resultados correspondientes, los cuales serán analizados en busca de respuestas concretas al interrogante de si las Liditas brindan ventajas o mejores comportamientos mecánicos e hidráulicos en los suelos con contenido de radiolarios.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Día a día la necesidad de investigar y saber más acerca de todos los materiales y materias primas que usamos en la industria de la construcción es mayor debido a que los retos y los requerimientos son aún más grandes y van en aumento. El estudio puntual de los suelos o específicamente de un estrato nos puede brindar la oportunidad de descubrir nuevas características o nuevos comportamientos en diferentes aspectos tanto mecánicos como físicos. Esta investigación se realiza siguiendo los parámetros de la investigación *Characterization parameters and mechanical response in diatomaceous soil depending on species* (Caicedo, B; Zuluaga, D; Slebi, C, 2017), En donde se buscaba comparar los resultados de caracterización y respuesta mecánica entre dos especies de Diatomeas una colombiana y otra mexicana, usando ensayos de laboratorio estándar. En ella se logró determinar que los valores de índice de plasticidad (IP) en el caso de la especie colombiana incrementan en cuanto más alto es el contenido de Diatomeas; mientras que en el caso de la especie mexicana ocurre lo opuesto, el (IP) disminuye con el contenido de diatomeas.

Si se consigue encontrar una nueva característica o un nuevo comportamiento con el uso de las Liditas en combinación con otros suelos, se obtendrá la posibilidad de realizar investigaciones más profundas que en un futuro conlleven a crear u optimizar procesos constructivos con el uso de estos materiales.

La información encontrada por la investigación *composition of soil diatoms in zones of impact from oil production complexesse* (Fazlutdinova, A.i; Sukhanova, N.v, 2012). ha estudiado el impacto de los complejos territoriales sobre la composición de especies de las comunidades de diatomeas (Bacillariophyta) y el grado de su desarrollo. Sobre la base de comparaciones entre conjuntos de diatomeas dominantes de diferentes zonas naturales, se hacen sugerencias sobre la estrategia de su adaptación a condiciones ambientales extremas. De tal manera se puede buscar ciertas comparaciones teniendo en cuenta la localización de suelos con radiolarios en diferentes georreferenciaciones.

Los ensamblajes radiolares contienen a menudo 200-400 especies así que pueden potencialmente ser herramientas biostratigraficas y paleoambientales muy útiles. Tienen un rango geológico inusualmente largo, desde el último Pre-Cámbrico a Reciente. Debido a que la Radiolaria tiene un esqueleto compuesto de sílice y tiene un rango geológico extremadamente largo, se han vuelto útiles en el estudio de sedimentos que carecen de fósiles calcáreos (UCL Microfossil Image Recovery And Circulation, 2002).

Existe un gran potencial para utilizar suelos naturales de diatomeas en el desarrollo de materiales de partículas manipuladas para aplicaciones de ingeniería geotécnica y geoambiental. Una de estas aplicaciones es el uso de suelos modificados, debido a sus características únicas (es decir, alta absorción de agua, límite de líquido y ángulo de fricción), (Palomino, Angélica M; KIM, Sungho; Summittt, Alex; 2011) con este mismo cumplimiento se quiere tener un resultado satisfactorio con la lidita buscando la manera que ofrezca aplicaciones para tratar los suelos.

Teniendo en cuenta los antecedentes descritos anteriormente, se evidencia que ya se han realizado investigaciones similares al que se presentará respecto a suelos con contenidos de radiolarios, de los cuales se tomarán como referencia los parámetros y las buenas prácticas adoptadas, con el fin de obtener los resultados claros y precisos para resolver el problema planteado.

Soportados en los resultados finales de la investigación se podrá evaluar y analizar un posible uso de suelos de liditas con el propósito de obtener mejores comportamientos tanto mecánicos como hidráulicos, entender y aplicar de manera correcta para generar beneficios en el diseño y ejecución de algunos procesos constructivos.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema

Se requiere determinar las características mecánicas e hidráulicas de un suelo con contenido de Radiolarios con el fin de obtener mayor conocimiento en estos tipos de suelos y especialmente en los cambios que los microorganismos fósiles le pueden llegar a influir a los suelos.

En la actualidad, es esencial contar con la mayor cantidad de información respecto a los materiales que se usan para el campo de la construcción, ya sea desde materias primas naturales hasta las más complejas composiciones. Esto hace que se requiera investigar nuevas posibles fuentes de materiales óptimos para el uso en la ingeniería civil y en el campo de la construcción.

En cuanto mayor sea el conocimiento de las características de las materias primas que se implementan en el campo de la construcción, menor será la incertidumbre del comportamiento en todos los aspectos de estos.

1.2.2 Formulación del problema

¿Las características y comportamiento de un suelo con contenidos de radiolarios cambian o mejoran en comparación de uno sin dicha adición?

En el presente informe se buscará realizar la caracterización de un suelo como la lidita por medio de Microscopía electrónica de barrido, y mediante diferentes dosificaciones de contenido de este material y un suelo ordinario, se determinará qué afectación tiene el suelo con contenidos de radiolarios al adicionarlo a uno sin éste, y por otro lado se definirá que indicios de mejoramiento de características mecánicas e hidráulicas presenta los suelos en combinación con las liditas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Analizar el comportamiento hidráulico-mecánico de un suelo con contenido de radiolarios mediante ensayos de laboratorio con el fin de determinar ventajas del suelo en comparación a otros sin este contenido.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar por medio de una microscopía electrónica de barrido la estructura física y química de las Liditas para su posterior evaluación y clasificación de tipo de suelo.

- Realizar una caracterización del material y llevar a cabo dosificaciones con distintos contenidos de Liditas para someterlas a ensayos de comportamiento hidráulico y mecánico.

- Comparar los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio para determinar si existen diferencias entre dos diferentes muestras de suelo con Liditas.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad existe gran cantidad de información acerca de los suelos que componen la geología del país. Aun así, siempre existe la necesidad de incursionar más acerca de la composición y clasificación de diferentes tipos de suelos en busca de evidenciar características y cualidades de los mismos que sirvan como ventajas para campos específicos.

1.5 DELIMITACIÓN

1.5.1 Contenido

Las Liditas son un estrato de suelo que se encuentra en zonas puntuales del país en donde ha existido presencia de cuerpos de agua, por lo cual puede llegar a ser necesario visitar un gran número de lugares y canteras de explotación de materiales de suelo para encontrar el estrato a estudiar.

Debido a que visualmente es difícil identificar que efectivamente un suelo seleccionado sea compuesto por liditas, llegarán a ser necesarias varias pruebas de microscopía electrónica de barrido (MEB) para identificarla. Así mismo, debido a lo mencionado anteriormente, las pruebas MEB pueden demandar un mayor tiempo de ejecución que el planeado en el cronograma de actividades y un monto mayor que el indicado en el presupuesto del proyecto.

La elaboración de los ensayos de laboratorio pertinentes para el estudio de las características mecánicas e hidráulicas a las liditas pueden arrojar resultados no satisfactorios, por lo tanto, la profundización en la investigación también sería limitada, pudiendo llegar a demandar ensayos más avanzados que no estarían dentro del alcance del presente proyecto de investigación.

1.5.2 Espacio y Alcance

Se procederá a clasificar una muestra de suelo Lidita para determinar el contenido de radiolarios mediante una prueba de microscopía electrónica de barrido realizada en un laboratorio externo. Posteriormente se dosificará mezclas de material ordinario con diferentes contenidos de Liditas que se someterán a ensayos de laboratorio realizados en los laboratorios de suelos de la Universidad Católica de Colombia. Se realizará un análisis de resultados de los ensayos de laboratorio

desarrollados con el fin de evidenciar cambios en las características y el comportamiento tanto mecánico como hidráulico del mismo.

1.5.3 Tiempo

El proyecto se desarrollará en un periodo máximo de cuatro meses cumpliendo con las fechas de presentación de trabajo de grado.

1.6 MARCO DE REFERENCIA

1.6.1 Marco Teórico

La Lidita es una roca estratificada de alto contenido en sílice, con radiolarios y cemento de calcedonia, coloreada en gris o negro por materia carbonosa. La radiolarita o lidita se forma por la sedimentación de los esqueletos silíceos. Los radiolarios son microorganismos que viven en las aguas superficiales del mar, que a su muerte caen al fondo del mar, se acumulan y forman el cieno o lodo de radiolarios. En él, paulatinamente, los esqueletos de ópalo se transforman en agregados de micro cristales de cuarzo de los radiolarios unicelulares. (Griem, W,2016).

El lodo de radiolarios se puede hallar sólo en zonas caracterizadas por escasa sedimentación de arena, limo, arcilla o carbonato y en el fondo de mar profundo debajo de la profundidad de compensación de carbonato. Aun si los esqueletos de los radiolarios son incoloros, las variedades típicas de la radiolarita son de color pardo rojizo, negro o verde debido a la presencia de hematita, sustancias orgánicas o minerales verdes en la roca. (Alicante, 2013) Las variedades negras se llaman liditas. Las radiolaritas son rocas masivas, con fractura concoide, de cantos vivos y de brillo vítreo o céreo. (Tarriño, Andonni, 1998).

Las radiolaritas/liditas son rocas sedimentarias de origen orgánico formadas, principalmente, por la acumulación de caparazones silíceos de unos protozoos llamados radiolarios. Además de estos seres, las radiolaritas también pueden incluir espículas de esponjas, diatomeas y determinados minerales detríticos, tales como cuarzo, arcilla, etc. La presentación de esta roca es en forma estratificada, y dependiendo de su color (variado del negro al rojo). (Terraza, Roberto; 2003).

Para explicar el origen de secuencias sedimentarias de liditas siendo esta una variedad compacta de chert, se han planteado tanto procesos deposicionales como

diagenéticos. Para el caso de secuencias de chert de ambientes marinos, el proceso deposicional involucra la acumulación de sílice (bien sea por precipitación directa del agua de mar o a partir de la disolución de restos orgánicos silíceos como conchas de radiolarios, diatomeas o espículas de esponjas o por depósito de estos mismos restos). (Terraza, Roberto; 2003).

La lidita es una variedad negra muy densa del chert. (Para otras variedades calcedónicas, grupo de minerales silíceos), Comparte características con el cuarzo y el sílex siendo así una piedra dura de color oscuro compuesta por una mezcla de cuarzo amorfo con alúmina, cal, óxido de hierro, carbón y otras sustancias de grano fino y que no puede ser atacada por los ácidos. Estas cualidades la hacen adecuada para el ensayo de pureza de los metales. (Martínez, José Ignacio & Vergara, Luis Eduardo; 1990).

La evaluación de su Leyenda Fisiográfica – Edafológica muestra un conocimiento de la caracterización y localización en cuanto a:

- Clima: cálido semihumedo.
- Gran paisaje: montañas y colinas estructurales erosiónales.
- Paisaje: complejo de lomas y colinas del grupo Guadalupe areniscas cuarzo, liditas y arcillolitas.
- Subpaisaje: Laderas fuertemente inclinadas (12-25%), Laderas escarpadas (50- 75%), con erosión moderada, Laderas fuertemente escarpadas (>75%).
- Características del suelo: Suelos superficiales a moderadamente profundos, bien drenados, presenta textura media a fina, ácidos, bajos en materia orgánica y fertilidad baja.

(Chavarro, Gerardo & Cardozo, Javier; 2003).

Se puede identificar la Nomenclatura estratigráfica y secciones de referencia que en grupos de desarrollo subdivide formaciones que clasifican las zonas de hallazgos, para la ubicación en el valle de Ubaté se encuentra dentro la formación de simijaca, formación conejo y plaeners.

En la parte norte-central para las rocas correspondientes al Campaniano Inferior, se presentan dos litologías diferentes, entre las Formaciones Conejo y Plaeners aflora una unidad de composición silícea que, aunque en posición corresponde con la Formación Arenisca Dura, litológicamente es diferente y es llamada en este trabajo

Lidita Superior (Ministerio de minas y energía. instituto colombiano de geología y minería, ingeominas. 2005).

Se denomina la Formación simijaca a una sucesión de 693 m de lutitas y limolitas grises oscuras con delgadas intercalaciones de areniscas que afloran al Sur de la población de Simijaca, limitada en su base, por las Areniscas de Chiquinquirá y suprayacida por la Formación La Frontera. (Ministerio de minas y energía. instituto colombiano de geología y minería, ingeominas. 2005).

De acuerdo a la litología La Formación Simijaca se caracteriza por ser una sucesión lodolítica, en el área aflora en la parte Norte de la Sabana (Anticlinal de Tabio), en la plancha 209 (Zipaquirá), describen la sección estratigráfica en la Vereda Calera (Municipio de Ubaté), en la vía Ubaté - Carmen de Carupa (N: 1.078.795 y E: 1.022.539), con un espesor de 107 metros, siendo una secuencia monótona constituida por arcillolitas y shales grises, negros, carbonosos, con foraminíferos, e intercalaciones de capas delgadas plano paralelas de calizas y areniscas, con abundantes concreciones de tamaños desde 10 a 80 cm. (Ministerio de minas y energía. instituto colombiano de geología y minería, ingeominas. 2005).

La Formación Conejo, subrayase a la Formación La Frontera, en contacto transicional rápido, pasa de unas liditas a un paquete de arcillolitas. El contacto superior en la parte central de la plancha es transicional rápido, dado por el paso gradual de areniscas con cemento síliceo y matriz arcillosa de la Formación Conejo a liditas arenosas, liditas y chert de la Formación Lidita Superior.

Se reportan en las localidades de Cucunubá y El Salto (Lenguazaque), del valle de Ubaté amonitas en el techo de la Formación Conejo, con edad Santoniano y que marcan el límite con el Campaniano. (Ministerio de minas y energía. instituto colombiano de geología y minería, ingeominas. 2005).

El Grupo Guadalupe es definido formalmente al oriente de Bogotá y esta conformado por las Formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna. En la Sabana de Bogotá, este grupo se reconoce por encima de la Formación Chipaque al oriente y sobre la Formación Conejo al occidente y es supra yacida en toda la Sabana por la Formación Guaduas. (Ministerio de minas y energía. instituto colombiano de geología y minería, ingeominas. 2005).

El término "Grupo Olini" es usado por primera vez en el VSM por geólogos de Intercol, pero es introducido a la literatura por Petters (1954). Lo redefine en la región de Piedras, departamento del Tolima, describiendo tres unidades litológicas diferentes, de base a tope: Lidita Inferior, Nivel de Lutitas y Lidita Superior. (Terraza, Roberto; 2003).

La litología del Grupo Olini (Cretácico superior) será descrita diferenciando cada uno de sus miembros. La Lidita Inferior está formada por capas de chert negro

alternada con láminas de shales (es una roca detrítica de grano fino); laminas fosfáticas dentro de la secuencia son frecuentes. El Nivel de Lutitas (miembro medio) está formado por shales negro con concreciones calcáreas. La Lidita Superior muestra una litología como la de la Lidita Inferior, diferenciándolas que en la Lidita Superior son más frecuentes y de mayor espesor las capas fosfáticas.

1.6.1 Marco Conceptual

Aguas superficiales: Es agua que se filtra a través de grietas y poros de las rocas y sedimentos que yacen debajo de la superficie de la tierra, acumulándose en las capas arenosas o rocas porosas del subsuelo. El agua se almacena y mueve en las formaciones geológicas que tienen poros o vacíos. (Guía “Las Aguas Subterráneas un enfoque práctico”. Instituto Colombiano de Geología y Minería. 2011).

Arcilla: es una roca sedimentaria descompuesta constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura. Es el término generalmente reservado para el material que es plástico, cuando está húmedo y no manifiesta una rotura bien desarrollada a lo largo de los planos de estratificación, aunque puede presentar laminaciones. (Alicante, geología/rocas-arcillosas).

Arena: material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 milímetros. Es un conjunto de fragmentos sueltos de rocas o minerales de pequeño tamaño. material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 milímetros (mm). Una partícula individual dentro de este rango es llamada grano o clasto de arena. Una roca consolidada y compuesta por estas partículas se denomina arenisca (o psamita) o calcarenita, si los componentes son calcáreos. (gracomaq - Componentes de la Tierra)

Calcedonia: Tradicionalmente, la calcedonia es una variedad criptocristalina del cuarzo, pertenece al grupo de los óxidos, con fórmula SiO_2 . Pertenece al sistema de cristalización trigonal. La calcedonia es de procedencia volcánica y debe su color por las múltiples inclusiones que se han depositado durante el crecimiento de ésta. La calcedonia posee múltiples variedades y colores. (mineralesdelmundo.com/calcedonia)

Carbonato: Los carbonatos son las sales del ácido carbónico o ésteres con el grupo R-O-C(=O)-O-R'. Las sales tienen en común el anión CO₃²⁻ y se derivan del ácido carbónico H₂CO₃. Según el pH (la acidez de la disolución) están en equilibrio con el bicarbonato y el dióxido de carbono. La mayoría de los carbonatos, aparte de los carbonatos de los metales alcalinos, son poco solubles en agua. Debido a esta característica son importantes en geoquímica y forman parte de muchos minerales y rocas. El carbonato más abundante es el carbonato cálcico (CaCO₃) que se halla en diferentes formas minerales (calcita, aragonito), formando rocas sedimentarias (calizas, margas) o metamórficas (mármol) y es a menudo el cemento natural de algunas areniscas. (cfm-minerales.es/carbonato).

Chert: es una roca sedimentaria rica en sílice de grano fino microcristalina, criptocristalina o microfibrada que pueden contener pequeños fósiles. Tiene gran variedad de color (desde el blanco al negro), pero más a menudo se manifiesta en gris, verde claro, marrón, marrón grisáceo y rojo oxidado (geology.com/rocks/chert.)

Cieno O Lodo De Radiolarios: Sedimentos formados a profundidades mayores de 2.000 metros, en lo más profundo de la zona batial y en la misma zona abisal parecen dos tipos principales de materiales: los fangos biogénicos y los sedimentos no biogénicos (arcilla roja). (Alicante, geología/depositos abisales).

Cuarzo: El cuarzo es un mineral compuesto de sílice (SiO₂). Tras el feldespato es el mineral más común de la corteza terrestre estando presente en una gran cantidad de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Se destaca por su dureza y resistencia a la meteorización en la superficie terrestre. Existen numerosas variedades de cuarzo; entre ellas está el cristal de roca, el cuarzo blanco o lechoso, el cuarzo café, el cuarzo ahumado, el citrino, la amatista, y los cuarzos rosados, azules y verdes. (expopiedras.com/project/cuarzo-2).

Diagenéticos: Relativo a la diagénesis, que es la alteración física, química o biológica de los sedimentos, que se convierten en rocas sedimentarias, a temperaturas y presiones relativamente bajas, que puede producir cambios en la mineralogía y la textura original de la roca. (Autores del Schlumberger Oilfield Glossary en español).

Diatomeas: Las diatomeas se caracterizan por ser algas con una pared celular muy distintiva, formada por dióxido de silicio hidratado. Esta pared celular se denomina frústula y suele estar constituida por dos mitades que reciben el nombre de válvulas. Debido a que el silicio es impermeable, las algas diatomeas han evolucionado para crear patrones de perforaciones en sus válvulas que les permitan obtener nutrientes e intercambiar sustancias de desecho con el medio ambiente. Estos modelos de perforaciones son los que se utilizan para su clasificación. (cienciatoday.com/diatomeas).

Espículas De Esponjas: Unidad esquelética calcárea o silíceas que forma parte del esqueleto de los poríferos, proporcionando, en este último caso, mayor rigidez y consistencia a las colonias coralinas. Se forman extracelularmente, y son varias las células que intervienen, de forma que, si intervienen dos, se forma una espícula lineal, si intervienen tres, se forma una trirradial que presenta los radios en un mismo plano, y si intervienen cuatro células, se forma una espícula de cuatro radios en forma de tetraedro.

Esqueletos De Ópalo: es un mineraloide del grupo IX (Silicatos, Tectosilicatos), según la clasificación, aunque no es un cuarzo, se caracteriza por su brillo y astillabilidad. El ópalo es a menudo un elemento fosilizado de animales y plantas (wikiwand/opalo)

Fractura Concoide: La fractura concoidea o concoidal es un tipo de rotura propia de ciertos materiales frágiles, de composición homogénea, pero amorfa (isótropa), que al trocearse no siguen planos naturales de separación, como láminas, poliedros... Entre estos materiales podemos incluir el vidrio doméstico, algunos minerales (cristal de roca) y numerosas rocas naturales duras y criptocristalinas como el sílex, la cuarcita, la obsidiana, etc. (ciencias cognoscitivas .blogspot).

Hematita: es un mineral compuesto de óxido férrico, cuya fórmula es Fe_2O_3 y constituye una importante mena de hierro ya que en estado puro contiene un 70 % de este metal. A veces posee trazas de titanio (Ti), aluminio (Al), manganeso (Mn) y agua (H_2O). (mineralesdelmundo.com/hematita)

Limo: El limo (o piedra de limo) es una roca sedimentaria compuesta principalmente de partículas limosas. Es más fino que la arenisca y más grueso que

la arcilla. El limo se encuentra en una variedad de colores. Para que se clasifique como tal, el diámetro de las partículas de limo varía de 0,0039 mm a 0,0625 mm. (geologiaonline.com/limo)

Materia carbonosa: Carbono puro o compuestos de carbono que están presentes en los residuos sólidos

Microorganismos: es un ser vivo, o un sistema biológico, que solo puede visualizarse con el microscopio. Son organismos dotados de individualidad que presentan, a diferencia de las plantas y los animales, una organización biológica elemental. (wiki/Microorganismo/bionova.org).

Radiolarios unicelulares: Los radiolarios son protozoos (unicelulares eucariotas heterótrofos) ameboides con esqueleto de naturaleza silíceo que se caracteriza por una cápsula central, que divide la célula en un endoplasma y ectoplasma. En el ectoplasma muchas veces se encuentran algas simbióticas. Tienen pseudópodos con forma de aguja y ramificados (filópodos), algunos de ellos soportados por un eje rígidos fibroso (axópodos). son un grupo de protistas ameboides que producen intrincados esqueletos minerales. (wiki/ Radiolarios unicelulares).

Sedimentación: es la acumulación por deposición de todos aquellos materiales alterados y transportados previamente. Siempre tiene lugar cuando disminuye la energía de los agentes de transporte. Por ejemplo cuando el río llega al mar. Los sitios donde se acumulan los sedimentos se llaman medios sedimentarios y de su estudio se desprende que podemos conocer los medios de transporte y erosión que han sufrido los materiales, también de dónde proceden y qué medio había cuando se depositaron esos materiales. (cienciaybiologia.com/sedimentacion-y-estratificacion).

1.6.2 Marco Legal

Para garantizar que los resultados de los estudios de suelos tengan la menor variabilidad posible entre un laboratorio y otro, se han determinado normas técnicas con el fin de estandarizar la ejecución de cada uno de los ensayos de laboratorio. En el caso de Colombia se encuentra el Instituto Colombiano de Normas Técnicas

(ICONTEC) el cual brinda un parámetro para los procedimientos a realizar en ensayos de laboratorio mediante las Normas Técnicas Colombianas (NTC) junto con el INVIAS.

Los ensayos de laboratorio que se realizarán en el presente proyecto de investigación deberán dar cumplimiento a cada una de las NTC y normas del INVIAS que se exijan para cada caso. En el evento en que algún procedimiento de ensayo no se encuentre normalizado, se deberá tomar como referencia parámetros internacionales para la disposición de cada proceso.

Algunas de las normas que se deberá tener en cuenta para dar cumplimiento a la realización de cada ensayo, sin limitarse a solo ellas, son:

- I.N.V. E – 123 – determinación de los tamaños de las partículas de los suelos.
- I.N.V. E – 125 - determinación del límite líquido de los suelos.
- I.N.V. E – 126 - límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.
- I.N.V. E – 151- consolidación unidimensional de los suelos.
- I.N.V. E – 152- compresión inconfiada en muestras de suelos.
- I.N.V. E – 122 - Determinación en el laboratorio de contenido de agua (humedad) de muestras de suelo.
- I.N.V. E – 154 – Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (CD)
- Norma británica BS 1377:1990 – Ensayo de cono de penetración de caída para determinación de límites.

1.7 METODOLOGÍA

Se realizará la búsqueda del material a estudiar. Teniendo en cuenta los antecedentes encontrados, se pueden definir zonas en las que existe presencia de estratos de lilitas. Para obtener las muestras se formulará un plan de reconocimiento teniendo como referencia los aspectos físicos como color, forma

y ubicación probable de la roca. Se tomará muestras de diferentes zonas en cantidades suficientes para lograr el estudio del suelo.

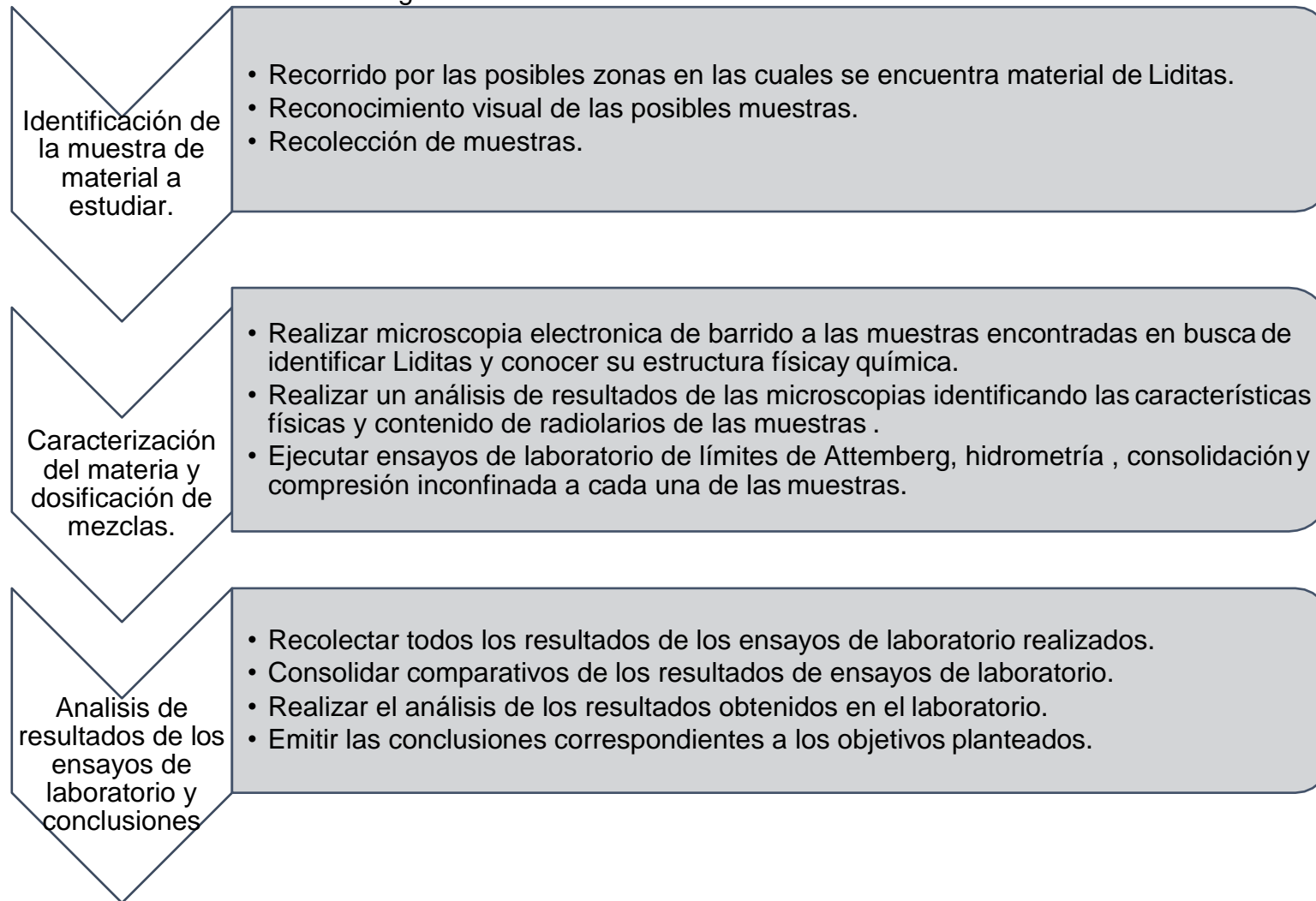
El análisis de las muestras de posibles estratos de Lidita en busca de Radiolarios se realizará mediante una microscopía electrónica de barrido (MEB) la cual es una técnica de análisis superficial, que consiste en enfocar sobre una muestra un fino haz de electrones, acelerado con energías de excitación desde 0.1kV hasta 30kV y que permite obtener información morfológica, topográfica y composicional de las muestras produciendo imágenes de alta resolución (UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, Microscopía de Barrido de Electrones, 2015). El análisis del resultado se realizará mediante un método visual, en busca de morfologías óseas o esqueléticas que indique contenido de Radiolarios.

Durante el proceso de investigación del estrato de suelo se desarrollará diferentes dosificaciones de suelo ordinario en combinación con las Liditas encontradas. Con las mezclas realizadas se procederá a realizar un plan de ensayos de laboratorio que permitan determinar el comportamiento hidráulico y mecánico de los mismos. Dentro de estos ensayos a practicar se puede encontrar: determinación de límites de Atterberg, contenido de Humedad, Resistencia a la compresión y ensayo de corte directo, entre otros.

De los ensayos de laboratorio desarrollados se tomará los resultados de cada una de las muestras de suelo y se realizarán comparativas que permitan concluir y determinar la existencia de ventajas con el uso de los suelos modificados con adición de Liditas.

Durante todo el proceso de la investigación y la ejecución de cada uno de las técnicas de estudio del suelo, se realizará una revisión constante de bibliografía con el fin retroalimentar y soportar cada paso con información técnica.

Tabla 1. Diseño Metodológico.



1.7.1 Descripción de ensayos de laboratorio

1.7.1.1 Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (I.N.V. E – 123 – 13)

Este método de prueba cubre las determinaciones cuantitativas de la distribución de tamaño de las partículas de las fracciones finas de los suelos. La distribución de tamaños de partículas más grandes de 75 μm (retenidas en el tamiz No 200) se determina por tamizado, en tanto que la distribución de las partículas más pequeñas que 75 μm se determina por un proceso de sedimentación, usando un hidrómetro que asegure los datos necesarios

- Equipo

Para la elaboración del ensayo se debe contar con una balanza con capacidad suficiente, unos respectivos tamices de acuerdo a los tamaños de las partículas.

Hidrómetro: graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, la gravedad específica de la suspensión o los gramos por litro de suspensión. Se tiene el uso conforme requisito de norma de un hidrómetro 152H

Hidrómetro 152H: La escala de gravedad específica debe calibrarse para leer 1.000 a 20° C (68° F) y debe extenderse para una capacidad de lectura desde 0.995 hasta 1.038. La escala gramos/Litro debe extenderse desde -5 g/l, con respecto a cero (1.000 de gravedad específica) hasta 60 g/l y que el suelo en suspensión tiene una gravedad específica de 2.65. El bulbo debe ser simétrico por encima y por debajo del diámetro medio y debe soplar dentro de un molde para garantizar uniformidad del producto. El diámetro del vástago puede variar para ajustar la longitud de la escala que se especifique, pero debe ser de diámetro uniforme de extremo a extremo. La exactitud de la escala debe ser de \pm una división de la misma. Distribuido uniformemente en toda su longitud.

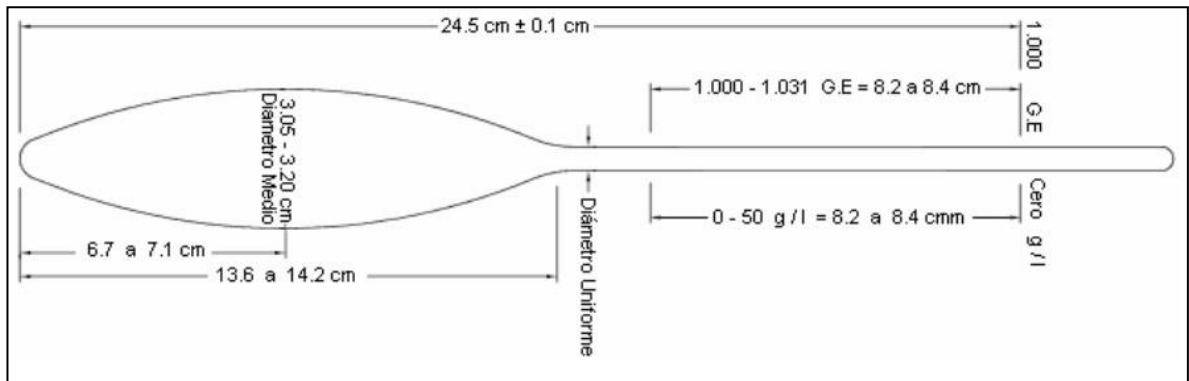


Ilustración 1. Hidrómetro 152H

Fuente: I.N.V. E – 123 – 13

Para efectuar el procedimiento correcto y obtener medidas indicadas se debe contar con el termómetro de inmersión, cronómetro o reloj, un Horno capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ ($230^{\circ} \pm 9^{\circ} \text{F}$), Vaso de vidrio (Beaker) con una capacidad de no menos de 250 ml y no más de 500 ml.

Recipientes: Recipientes apropiados, hechos de material no corrosivo y que no estén sujetos a cambio de masa o desintegración a causa de repetidos calentamientos y enfriamientos. Los recipientes deben tener tapas que se ajusten perfectamente, para evitar pérdidas de humedad antes de determinar su masa inicial y para prevenir la absorción de humedad de la atmósfera después del secado y antes de la determinación de la masa final. Se necesita un recipiente para cada determinación del contenido de humedad.

Baño de Agua o Cuarto de temperatura constante: Se utiliza para mantener la suspensión de suelo a temperatura constante durante el análisis del hidrómetro, evitándose de esta forma las correcciones por temperatura.

- Preparación de la muestra

El tamaño aproximado de la muestra que se debe usar para el análisis por el hidrómetro varía con el tipo de suelo que va a ser ensayado. La cantidad requerida para suelos arenosos es 100 g. La masa exacta de la muestra en suspensión puede ser determinada antes o después del ensayo. Sin embargo, el secado al horno de algunas arcillas antes del ensayo puede causar cambios permanentes en los tamaños de granos aparentes; las muestras de estos suelos deben ser conservadas con su contenido de humedad natural, y ensayadas sin ser secadas al horno.

- Procedimiento
 - Se anota en el formato toda la información existente para identificar la muestra.
 - Se determina la gravedad específica de los sólidos, Gs.
 - Si la masa secada al horno se va a obtener al principio del ensayo, se seca la muestra al horno, se deja enfriar y se pesa con una aproximación de 0.1 g. Se anota en el formato el valor obtenido. A continuación, se coloca la muestra en una cápsula de 250 ml previamente identificada con un número, se agrega agua destilada o desmineralizada hasta que la muestra quede totalmente sumergida. En ese momento, se coloca el agente dispersante: 125 ml de solución de hexametáfosfato de sodio (40g/l). Se deja la muestra en remojo por una noche hasta que los terrones de suelo se hayan desintegrado.
 - Se transfiere la muestra con agua, de la cápsula a un vaso de dispersión, lavando cualquier residuo que quede en la cápsula con agua destilada o desmineralizada. Si es necesario, se añade agua al vaso de dispersión, hasta que la superficie de ella quede de 50 a 80 mm por debajo de la boca del vaso.
 - Se transfiere la suspensión a un cilindro de sedimentación de 1000 ml donde se agita algunas veces durante 1 minuto, se consigue una distribución uniforme de las partículas de suelo. Este proceso evita también la acumulación de sedimentos en la base y en las paredes del cilindro graduado.
 - Al terminar el minuto de agitación, se coloca el cilindro sobre una mesa. Se pone en marcha el cronómetro. Si hay espuma presente, se remueve tocándola ligeramente con un pedazo de papel absorbente. Se introduce lentamente el hidrómetro en la suspensión. Se debe tener mucho cuidado cuando se introduce y cuando se extrae, para evitar perturbar la suspensión.
 - Se toman lecturas de hidrómetro, al minuto, y a los dos minutos después de haber colocado el cilindro sobre la mesa, se extrae cuidadosamente el hidrómetro de la suspensión y se coloca en un cilindro graduado con agua limpia. Luego se introduce nuevamente el hidrómetro y se realizan lecturas a los 5, 15, 30, 60, 120, 250 y 1440 minutos del inicio de la sedimentación.

- Después de realizar la lectura de hidrómetro, se mide la temperatura con una aproximación de 0.5° C (0.9° F). Los cambios de temperatura de la suspensión durante el ensayo afectan los resultados.



Ilustración 2. Mezcla agente de floculante y agua



Ilustración 3. Agitadora eléctrica

Fuente: Autores.

1.7.1.2 Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo, roca y mezclas de suelo -agregado (i.n.v. E – 122 – 13)

El comportamiento del suelo se puede comparar con el de una esponja por su capacidad para retener agua dentro de su estructura y cuya cantidad depende de las características de sus partículas (textura y estructura). El contenido de humedad de un suelo es la relación existente entre la masa de agua que logra alojarse dentro de la estructura porosa del suelo, y la masa propia de las partículas de suelo. También se define el contenido de humedad de un suelo como la suma del agua libre, capilar e higroscópica.

Este método cubre la determinación de laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca, y mezclas de suelo-agregado por peso. Por simplicidad, de aquí en adelante, la palabra "material" se refiere a suelo, roca o mezclas de suelo agregado, la que sea aplicable.

El tamaño de la muestra que las especificaciones recomiendan está en función del tamaño máximo de las partículas de la misma. A continuación, se presenta la tabla con los tamaños recomendados por la Norma.

Tabla 2. Masa mínima de los especímenes de ensayo según INV 122-13.

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA (PASA 100 %)		MÉTODO A		MÉTODO B	
		CONTENIDO DE AGUA REGISTRADO CON APROXIMACIÓN DE ± 1 %		CONTENIDO DE AGUA REGISTRADO CON APROXIMACIÓN DE ± 0.1 %	
TAMAÑO TAMIZ (MM)	TAMAÑO TAMIZ ALTERNATIVO	MASA DEL ESPÉCIMEN	LECTURA DE LA BALANZA (g)	MASA DEL ESPÉCIMEN	LECTURA DE LA BALANZA (g)
75.0	3"	5 kg	10	50 kg	10
37.5	1½"	1 kg	10	10 kg	10
19.0	¾"	250 g	1	2.5 kg	1
9.5	3/8"	50g	0.1	500 g	0.1
4.75	No. 4	20 g	0.1	100 g	0.1
2.00	No. 10	20 g	0.1	20 g	0.01

- Equipo

El equipo necesario para llevar a cabo la determinación del contenido de humedad del suelo es el siguiente:

Horno de secado: con capacidad para mantener temperaturas constantes de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Recipientes de muestreo: los recipientes deben tener características especiales como son: su material preferiblemente aluminio o porcelana, que soporte altas temperaturas y sea resistente a la corrosión por el contacto con la humedad de las muestras. Deben estar marcados con un código que facilite su identificación.



Ilustración 4. Equipo para ensayo de Humedad

Fuente: Autores.

- Procedimiento
 - Seleccionar un recipiente de referencia y masa conocida.
 - Una vez seleccionada la muestra a ensayar, depositar la misma dentro del recipiente y determinar la masa del conjunto (recipiente + muestra).
 - Se procede a dejar el recipiente con la muestra dentro del horno, a una temperatura constante de $110 \pm 5^\circ \text{C}$. Se debe dejar en el horno el tiempo suficiente para que se alcance una masa constante. Para tener seguridad de lo anterior se deben hacer mediciones de masa en intervalos de tiempo.
 - Una vez se haya secado el material se retira del horno y se deja secar a temperatura constante para luego determinar su peso seco.



Ilustración 5. Peso de muestra húmeda

Fuente: Autores.

1.7.1.3 Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (I.N.V. E – 154 – 13)

Sin duda uno de los factores más importantes en la caracterización de materiales térreos dentro de la mecánica de suelos y en la búsqueda de obtener los parámetros necesarios para poder llevar a cabo obras que garanticen la estabilidad en las obras civiles, es la resistencia al esfuerzo cortante que presentan los suelos.

Tiene por objeto la determinación de la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidado y drenada. Este ensayo se puede realizar sobre todos los tipos de suelo.

En la realización del ensayo se debe tener cuidado en que las condiciones que representen los resultados sean las que se quieren en la investigación.

- Resumen Del Método

El ensayo consiste en:

- (a) Colocación de la muestra de ensayo en el dispositivo de corte directo.
- (b) Aplicación de una carga normal determinada.
- (c) Disposición de los medios de drenaje y humedecimiento de la muestra.
- (d) Consolidación de la muestra bajo la carga normal.
- (e) Liberación de los marcos que sostienen la muestra.
- (f) Aplicación de la fuerza de corte para hacer fallar la muestra. Generalmente tres o más muestras son ensayadas, cada una bajo fuerza normal diferente, para determinar los efectos sobre la resistencia al corte y las deformaciones. El intervalo de las cargas normales usadas deberá ser el apropiado y en concordancia para las condiciones del suelo investigado.

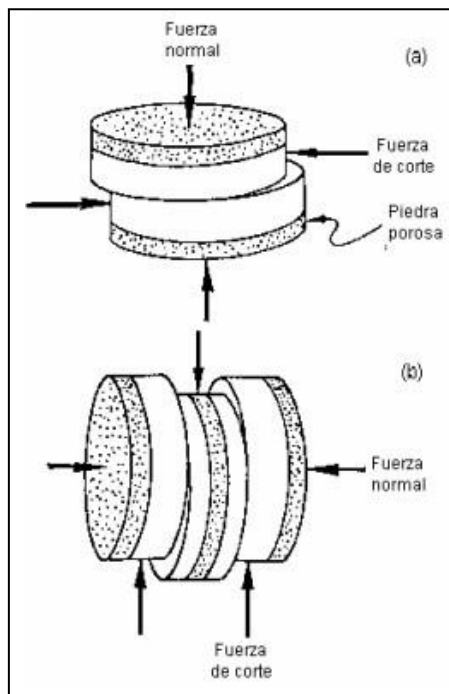


Ilustración 6. Esquema del ensayo del corte (a) sencillo y (b) del corte doble.

Fuente: I.N.V. E – 154 – 13.

- Equipo

Aparato o Dispositivo de corte directo: El dispositivo de corte directo deberá sostener la probeta con seguridad entre dos piedras porosas colocadas una en cada cara, de tal manera que no se presenten movimientos de torsión sobre ella. El equipo debe ser capaz de aplicar y medir una fuerza de corte para hacer fallar la muestra a lo largo de un determinado plano (corte simple) o de determinados planos (corte doble), los cuales serán paralelos a las caras de la muestra y determinar los desplazamientos laterales de ésta. Los marcos que sostienen la probeta deben ser lo suficientemente rígidos para evitar su deformación durante el corte.

Caja de corte: La caja de corte podrá ser redonda o cuadrada con los aditamentos necesarios para el drenaje por la parte de arriba y por el fondo. La caja de corte deberá estar dividida por un plano horizontal que separa dos mitades de igual espesor, ésta deberá estar provista con tornillos de alineación o bloqueo. Adicionalmente la caja de corte también deberá poseer tornillos que controlen el espaciado entre el marco superior y el inferior.

Piedras porosas: La permeabilidad de la piedra porosa debe ser substancialmente mayor que el de la muestra, pero debe prevenir la intrusión excesiva de las

partículas de muestra en los poros de la inserción. La piedra porosa también deberá ayudar a transferir el esfuerzo de corte a la muestra, por lo cual deberá ser lo suficientemente tosca para desarrollar un enclavamiento.

Dispositivos de carga: Dispositivo para la aplicación de la fuerza normal: aplicar rápidamente la fuerza especificada sin excederla y para mantenerla con una variación máxima de $\pm 1\%$ durante el proceso de ensayo.

Dispositivo para la aplicación de la fuerza de corte: con control de deformaciones o con control de esfuerzos. El primero por la facilidad para determinar tanto el esfuerzo último como la carga máxima.



CAJA CORTE DIRECTO	
1	Mitad de caja superior
2	Mitad de caja inferior
3	Tornillos de ajuste
4	Papel de filtro
5	Placas ranuras orificios
6	Pistón de carga
7	Piedras porosas
8	Anillo para muestra

Ilustración 7. Caja de corte directo.

Fuente: Autores.

- Procedimiento De Ensayo
 - Se ensambla la caja de corte con los marcos alineados, Se aplica una ligera capa de grasa entre los marcos para lograr impermeabilidad durante la consolidación y reducir la fricción durante el corte. Se introduce la muestra de ensayo con sumo cuidado. Se conecta n los dispositivos de carga y se ajustan los medidores de desplazamiento lateral de corte, como los de cambio del espesor de la muestra, luego se determinará el espesor inicial de la probeta.

- Se debe permitir la consolidación de la muestra bajo una fuerza normal adecuada y previamente escogida. Durante el proceso de la consolidación se deben registrar las lecturas de desplazamiento normal, en tiempos apropiados, antes de aplicar un nuevo incremento de la fuerza. Cada incremento de la fuerza normal debe durar hasta que se complete la consolidación primaria. El incremento final debe completar la fuerza o esfuerzo normal especificado.
- Corte de la muestra – Luego de terminada la consolidación se deben soltar los marcos desbloqueándolos y separándolos aproximadamente 0.25 mm (0.01"), para permitir el corte de la muestra. Se debe aplicar la fuerza de corte lentamente para permitir la disipación completa del exceso de presión de poros. Para determinar la velocidad de aplicación de la carga hasta la falla se realizan cálculos respectivos.

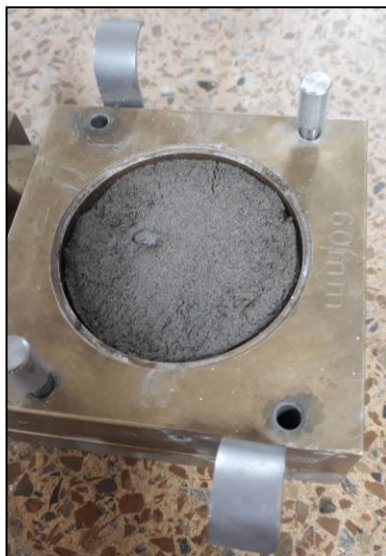


Ilustración 8. Montaje de muestra corte directo

Fuente: Autores.

1.7.1.4 Consolidación unidimensional de los suelos (I.N.V. E – 151 -13)

Este método tiene como objeto la realización del procedimiento para determinar la rata y la magnitud de la consolidación de muestras de suelos cuando se confinan lateralmente y se cargan y drenan axialmente.

- Resumen Del Método

El método requiere que una muestra del suelo sea restringida lateralmente y que se cargue axialmente con incrementos constantes de carga, aplicados hasta que todo exceso de la presión de agua en los poros se disipe, para cada incremento. Durante el proceso de compresión se efectuarán medidas de la disminución del espesor de la muestra, datos que se usarán para calcular los parámetros que describen la relación entre el esfuerzo efectivo y la relación de vacíos o deformación, así como la rata a la cual pueda ocurrir ésta.

Los datos que resultan del ensayo de consolidación pueden usarse para hacer un estimativo de la magnitud del asentamiento diferencial y/o total, de una estructura o de un relleno.



Ilustración 9. Consolidómetro para ensayo

Fuente: Autores.

- Equipo

Dispositivos de carga: Un dispositivo adecuado para aplicar cargas verticales a la muestra. El dispositivo deberá ser capaz de mantener las cargas especificadas durante períodos prolongados con una precisión de $\pm 0.5\%$ de la carga aplicada y deberá permitir la aplicación de un incremento de carga, dentro de un período de 2 segundos sin que se produzca ningún impacto de significación.

Consolidómetro: Un dispositivo para mantener la muestra dentro de un anillo el cual puede estar fijado a la base o puede ser flotante (sostenido por fricción sobre la periferia de la muestra) con piedras porosas sobre cada cara de la muestra. El consolidómetro deberá proporcionar también medios para sumergir la muestra, aplicar la carga vertical, y medir el cambio de espesor de la misma.

Piedras porosas. Las piedras porosas podrán ser de carburo de sílice, o de óxido de aluminio, o de un metal que no sea atacado ni por el suelo, ni por la humedad del mismo. Las piedras deberán estar limpias y libres de grietas, astillas e irregularidades.

El espesor de la piedra deberá ser suficiente para evitar su rotura. La piedra superior deberá cargarse a través de una platina resistente a la corrosión que deberá ser suficientemente rígida para evitar el rompimiento de la piedra.

Cizalla o cortador cilíndrico, para tallar la muestra hasta el diámetro interior del anillo del consolidómetro, con el mínimo de alteración. El cortador deberá tener una superficie altamente pulida y deberá cubrirse con un material de baja fricción.

Deformímetro, para medir el cambio de espesor de la muestra con una sensibilidad de 0.0025 mm (0.0001").



EQUIPO DE CONSOLIDÓMETRO	
1	Célula edométrica
2	Collarin
3	Tornillos de fijación
4	Pistón de carga
5	Piedras porosas
6	Anillo

Ilustración 10. Consolidómetro para ensayo

Fuente: Autores.

- Preparación De La Muestra

La muestra se moldeará de acuerdo con el interior del diámetro del consolidómetro, forzándola directamente dentro del mismo.

Deberán tomarse precauciones para disminuir la alteración del suelo o los cambios en la humedad y peso unitario durante el transporte y preparación de la muestra, y deberá evitarse para la misma cualquier vibración, distorsión y compresión.

Determinar el contenido natural de humedad y el peso específico de acuerdo con las Normas e INV E-122 e INV E-128, respectivamente. Determinarse el peso inicial de la muestra húmeda substrayendo el peso del anillo del peso combinado del anillo y de la muestra, así como el volumen inicial de la muestra a partir del diámetro y del espesor de la misma

- Procedimiento
 - Ármese el anillo, la muestra y las piedras porosas. Con el conjunto del consolidómetro ensamblado, envuélvase la muestra, el anillo, el papel de filtro (cuando se use) y las piedras porosas con un plástico suelto o con una membrana de caucho para evitar el cambio en el volumen de la muestra por evaporación. Podrá omitirse esta etapa cuando la muestra se inunde después de aplicado el primer incremento de carga.
 - Colóquese el consolidómetro en el dispositivo de carga y aplíquese una carga de asentamiento de 5 kPa (0.05 kg/cm²) o de 100 lb/pie². Dentro de los cinco minutos siguientes a la aplicación de ésta, ajústese el deformímetro para la lectura inicial o para la lectura de cero. Para los suelos muy blandos es deseable por lo menos una presión de (0.025 kg/cm² o 2 o 3 kPa, alrededor de 50 lb/pie²).
 - Colóquense cargas sobre el consolidómetro para obtener presiones sobre el suelo de aproximadamente 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4 kg/cm² etc. El proceso del cargue de la muestra deberá continuarse dentro de la zona de la compresión virgen de manera que pueda apreciarse la forma de la curva en la parte correspondiente a éste.

1.7.1.5 Determinación del límite líquido de los suelos (I.N.V. E – 125 – 13)

Este límite además de ser un parámetro esencial para la clasificación de los suelos, puede ser útil para determinar problemas de potencial de volumen, para estimar asentamientos en problemas de consolidación y en conjunto con el Límite plástico

para predecir la máxima densidad en estudios de compactación. En la determinación de correlaciones de los suelos como la compresibilidad, permeabilidad y compactibilidad, es usado el límite líquido en conjunto con el límite plástico y el índice de plasticidad.

El ensayo de límite líquido de un suelo tiene por objeto tener el conocimiento del contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico.

- Equipo

Aparato de Casa Grande: la cuchara o cazuela de Casa Grande es el aparato usado en ingeniería civil y geotecnia, para determinar el límite líquido de los suelos. Compuesto por una cazuela normalmente de bronce, la cual está fija a un dispositivo de rotación por manivela, que permite la elevación y la caída (10mm) de la cazuela produciendo un golpe de rebote contra la base del aparato.

Ranurador: es un elemento clave en la realización del ensayo. Normalmente hecho de acero inoxidable y de forma plana o curva, con el cual se realiza la ranura en el material de ensayo. Puede hacer parte de este un bloque de acero de dimensiones exactas y con el cual se realiza la verificación de la altura de caída de la cazuela.

Balanza: debe trabajar con aproximación de 0,1 g o 0,1 % del peso de la muestra.

Horno: debe trabajar y mantener una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$. - Tamiz N° 40 (425 μm).

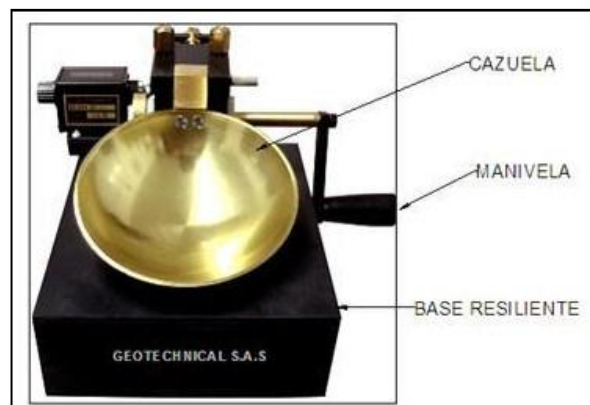


Ilustración 11. Cazuela de Casa Grande.

Fuente: Autores.

- Procedimiento
 - Se coloca la muestra de suelo en la vasija de evaporación y se mezcla completamente con 15 a 20 ml de agua destilada, agitándola, amasándola y tajándola con una espátula en forma alternada y repetida. Realizar más adiciones de agua en incrementos de 1 a 3 ml. Se mezcla completamente cada incremento de agua con el suelo.
 - Cuando agua suficiente ha sido mezclada perfectamente con el suelo hasta formar una pasta uniforme de consistencia dura, se coloca una cantidad adecuada de esta mezcla en la cazuela encima del punto donde ésta descansa en la base y se comprime y extiende con la espátula para nivelarla y a la vez, dejarla con una profundidad de 10 mm en el punto de su máximo espesor.
 - Se divide el suelo en la cazuela de bronce con una firme pasada del ranurador a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la masa del suelo, de modo que se forme una ranura limpia y de dimensiones apropiadas.
 - Se levanta y golpea la cazuela girando la manija F, a una velocidad de dos (2) revoluciones por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto en el fondo de la ranura a lo largo de una distancia de cerca de 13mm (0.5"). Se anota el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.
 - Se saca una tajada de suelo, aproximadamente del ancho de la espátula; se toma de uno y otro lado y en ángulo recto con la ranura incluyendo la porción de ésta en la cual se hizo contacto y se coloca en un recipiente adecuado. Se pesa y se anota el valor. Se coloca el suelo con el recipiente dentro del horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) hasta obtener una masa constante y se vuelve a pesar tan pronto como se haya enfriado antes de que pueda haber absorbido humedad higroscópica. Se anota esta masa, así como la pérdida de masa debida al secamiento y la masa del agua.



Ilustración 12. Muestra después de accionar la cazuela

Ilustración 13. Recolección de muestra

Fuente: Autores.

1.7.1.6 Límite plástico e índice de plasticidad de suelos I.N.V. E – 126 – 13

El límite plástico fue definido por Atterberg como la frontera que existe entre los estados plástico y semisólido del suelo. En términos de laboratorio este límite es definido como el momento en términos de contenido de humedad, en que rollitos de aproximadamente 3 mm de diámetro empiezan a presentar desmoronamiento y agrietamiento.

El índice de plasticidad es la diferencia entre los valores de Límite Líquido y Límite Plástico. Un Índice de plasticidad bajo, significa que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo, lo transforma de semisólido a la condición de líquido, es decir resulta muy sensible a los cambios de humedad. Por el contrario, un índice de plasticidad alto, indica que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua.

El límite plástico de un suelo es el contenido más bajo de agua, determinado por este procedimiento, en el cual el suelo permanece en estado plástico. El índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

- Equipo

Espátula: debe ser de hoja flexible con una longitud que oscile entre 75-100 mm y un ancho de 20 mm.

Capsula para Evaporación: preferiblemente de porcelana.

Capsulas para determinar el contenido de humedad

Balanza: debe trabajar con aproximación de 0,01 g

Horno: debe trabajar y mantener una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Calibrador: debe trabajar con aproximación de 0,1 cm.

- Procedimiento

- Método de Moldeo de Rollos Manual – Se rueda la masa de suelo entre la palma de la mano o los dedos y el plato de vidrio esmerilado (o un pedazo de papel que esté sobre la superficie horizontal y lisa) con solo la presión necesaria para formar un rollo de diámetro uniforme en toda su longitud. El rollo se debe adelgazar más con cada rotación, hasta que su diámetro alcance 3 mm, tomándose para ello no más de dos minutos. La presión requerida de la mano o de los dedos, variará en gran medida, dependiendo del tipo de suelo. Suelos frágiles de baja plasticidad se enrollan mejor bajo el lado exterior de la palma de la mano o la base exterior del pulgar.



Ilustración 14. Molde de rollo manual Limites de Atterberg

Fuente: Autores.

- Cuando el diámetro del rollo llegue a 3 mm, se divide en seis u ocho trozos. Se juntan los trozos y se aprietan entre los pulgares y dedos de ambas manos formando una masa uniforme de forma elipsoidal y se enrolla de nuevo. Se repite este procedimiento, partiendo, juntando, amasando y enrollando hasta que el rollo de 3 mm de diámetro se desmorone bajo la presión requerida para el enrollamiento y el suelo no pueda ser rotado para formar el rollo.



Ilustración 15. Medición diámetro requerido

Fuente: Autores.

1.7.1.7 Ensayo de penetrómetro cónico para la determinación de límite plástico y límite líquido

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la elaboración del ensayo de límites líquido como plástico de la forma que la norma de INVIAS lo plantea, se establece que, por valores recolectados, los resultados de la práctica realizada a la muestra correspondiente no genera un límite líquido del mismo modo que el límite plástico. Por lo tanto, se opta por la realización de otro procedimiento diferente para determinar el límite líquido, denominado método del penetrómetro cónico, cuyo uso está respaldado por la norma británica BS 1377:1990 y que se utiliza como método alternativo en algunos países.

Totalmente distinto del de la cazuela de Casagrande: en lugar de usar un método "dinámico" por vibración y muy dependiente del operador, utilizó uno estático y poco dependiente del operador: un peso en forma de cono que, dejado durante 5 segundos de punta sobre el suelo (amasado con agua), se hundía por su propio peso.

El método alternativo que más se ha estudiado es el ensayo del cono. La punta del cono penetra en el suelo empujada por un peso y para evitar efectos dinámicos se frena la caída, de modo que el peso total no actúe sobre la punta hasta pasando un

tiempo desde el comienzo del ensayo. Naturalmente, cuanto mayor sea el contenido de humedad del suelo más se introducirá la punta en él. El límite líquido será la humedad correspondiente a una profundidad de penetración determinada en función del cono que se utilice, que se obtendría tras la realización de un ajuste de varias parejas profundidad de penetración-humedad. (*Aplicabilidad del penetrómetro cónico en la determinación del límite líquido en suelos de baja y media plasticidad - Rabat_Blazquez_Alvaro*)



Ilustración 16. Penetrómetro cónico

Fuente: *Aplicabilidad del penetrómetro cónico en la determinación del límite líquido en suelos de baja y media plasticidad - Rabat_Blazquez_Alvaro*

En este trabajo se va estudiar precisamente la viabilidad del uso del cono que propone la norma británica BS 1377:1990 para obtener el límite líquido (el cuál sería la humedad que correspondería a una penetración de 20 mm).

Debido a la dificultad para conseguir el límite líquido en una sola prueba, pueden llevarse a cabo 4 o más pruebas con diferentes contenidos de humedad para determinar la penetración del cono. Entonces se puede representar una gráfica semilogarítmica con el contenido de humedad (w) frente a la penetración del cono (d). Los resultados de la trama en una línea recta. El contenido de humedad corresponde a (d) 2mm es el límite líquido.

La prueba correspondiente para la determinación de los límites líquido y plástico varían en cuanto al cono estándar para cada prueba, un cono de ángulo de vértice de 30° y un peso de 80gf, (ensayo límite líquido). Un cono de ángulo de vértice de 30° y un peso de 240gf, (ensayo límite plástico).

1.7.1.8 Compresión inconfiada en muestras de suelos (I.N.V. E – 152- 13)

La resistencia a la compresión inconfiada se define como el valor del esfuerzo que se debe aplicar normalmente a un espécimen de suelo para producir en este la condición de falla.

El objeto de esta Norma es indicar la forma de realizar el ensayo para determinar la resistencia a la compresión inconfiada de suelos cohesivos bajo condiciones inalteradas o remodeladas, aplicando carga axial, usando cualquiera de los métodos de resistencia controlada o deformación controlada. Este ensayo se emplea únicamente para suelos cohesivos, ya que en un suelo carente de cohesión no puede formarse una probeta sin confinamiento lateral.

- Equipo

Aparato de Compresión: conformado por una prensa para rotura de las probetas, de velocidad controlada manual o mecánicamente, con capacidad suficiente para llegar a la carga de rotura. El dispositivo de medida de la fuerza aplicada debe tener una sensibilidad del 1 % de la resistencia a la compresión simple de la muestra ensayada.

Deformímetro: debe ser un comparador de caratula, cuyos registros aporten una precisión de 0,01 mm y una longitud de medición de mínimo 0,2 la altura total de la muestra de ensayo.

Cronometro: instrumento de medición de tiempo con valores de precisión 1s. De esta manera junto con los datos aportados por el deformímetro será posible medir la velocidad de deformación del espécimen durante la prueba.

Moldes para preparar probetas de suelo amasado o compactado.

Horno capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

Balanzas que den el peso de la muestra con una precisión del 0.1 % de su peso total.

- Procedimiento

- Se miden la altura y el diámetro o lado de la probeta, con una precisión de 0.1 mm mediante un calibrador con nonio o un objeto análogo. - En probetas de gran tamaño puede adoptarse una precisión menor y proporcional al tamaño de la muestra.



Ilustración 17. Toma de dimensiones de la muestra para compresión confinada.

Fuente: Autores.

- Se pesa la muestra
- Se coloca la probeta en la prensa de modo que quede perfectamente centrada. Se acciona el dispositivo de avance lo estrictamente necesario para que la probeta toque a la placa superior de la prensa. Se pone en cero el indicador de deformaciones.
- Para el caso de la deformación controlada, se acciona la prensa de modo que la velocidad de deformación unitaria de la probeta esté comprendida entre $\frac{1}{2}$ % y 2% por minuto. Se toman medidas de las deformaciones y de las cargas cada 30 segundos hasta que las cargas comiencen a disminuir o hasta llegar a una deformación axial del 20% (lo que antes suceda).
- Hágase un esquema de la forma de rotura. Si la rotura se produce a través de un plano inclinado, es conveniente medir el ángulo de inclinación de dicho plano.
- De la parte de la probeta en donde se ha producido la rotura se toma una pequeña muestra en el recipiente y se determina su humedad. También se determina la humedad de toda probeta, anotando los pesos y haciendo las operaciones que se indican en la hoja de cálculos.



Ilustración 18. Proceso de falla para muestra de compresión inconfiada

2. RECOLECCIÓN DE MUESTRA

Para poder obtener las muestras a estudiar por medio de anteriores investigaciones se pudo determinar la posible ubicación dentro del departamento de Cundinamarca en zona rural del municipio de Tausa, la cual es altamente reconocida por su riqueza material y de explotación de insumos para la construcción.

Producto de las búsquedas del material realizadas, se logró encontrar por medio del departamento de Geociencias de la facultad de ciencias de la Universidad Nacional de Colombia dos muestras de Liditas extraídas de la zona mencionada anteriormente.

En el Anexo 1. Se puede evidenciar la ficha técnica de la muestra del material mineral en la cual se establece características tales como tipo, textura, familia y composición estimada. Para este caso se incluyen dos unidades de muestra tipo roca sedimentaria detrítica de dos diferentes familias, una de la familia Chert Short (lidita superior) y otra de la Chert Long (lidita superior).



Ilustración 20. Muestra Chert Short Fuente: autoría propia.



Ilustración 19. Muestra Chert Long Fuente: autoría propia.

De acuerdo con el Anexo 1. Se puede determinar la zona de la cual fueron extraídas las muestras de lidita y su ubicación exacta por medio de coordenadas y haciendo uso de herramientas como Google Earth se puede definir la zona exacta la cual se muestra en la ilustración 3 e ilustración 4.

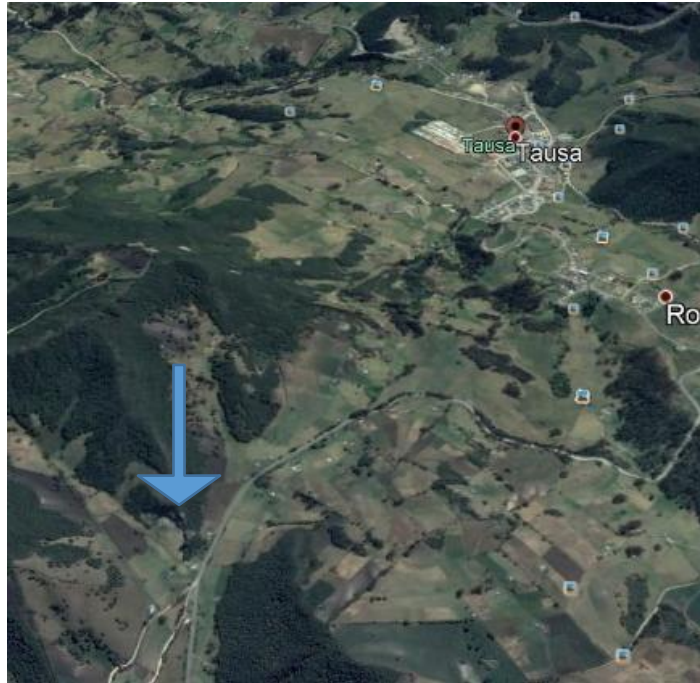


Ilustración 21. Localización zona extracción en Tausa. Fuente: Google Earth.



Ilustración 22. Sitio de extracción de muestras. Fuente: Google Earth.

2.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA ENSAYOS

Tanto para los ensayos de laboratorio a realizar como para desarrollar la microscopía electrónica de barrido, es necesario contar con las muestras en un estado pulverizado, lo cual se consiguió mediante trituración manual, teniendo el cuidado para la no contaminación de la muestra con otros materiales, esto se realiza entre otras cosas, protegiendo la superficie en la cual se llevó a cabo el proceso y posteriormente almacenar la roca pulverizada en bolsas herméticas.



Ilustración 23. Trituración manual de muestras Fuente: Autoría propia.

3. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)

3.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La prueba de microscopía electrónica de barrido fue realizada en las instalaciones de la Universidad Nacional De Colombia en el edificio de Geociencias.

Para la preparación de la muestras con el fin de realizar la microscopía electrónica de barrido se debe proceder con un recubrimiento con oro debido a que las muestras son no conductoras. Las muestras destinadas al SEM han de cumplir dos condiciones: deben estar secas y ser conductoras. El proceso de secado ha de llevarse a cabo preservando al máximo la estructura original de la muestra. Para ello se tiene dos alternativas: usar el método clásico de fijación y deshidratación química que se realiza en laboratorio y que finaliza con el secado por punto crítico, o utilizar el moderno método de fijación física por criofijación que está acoplado a uno de los microscopios.

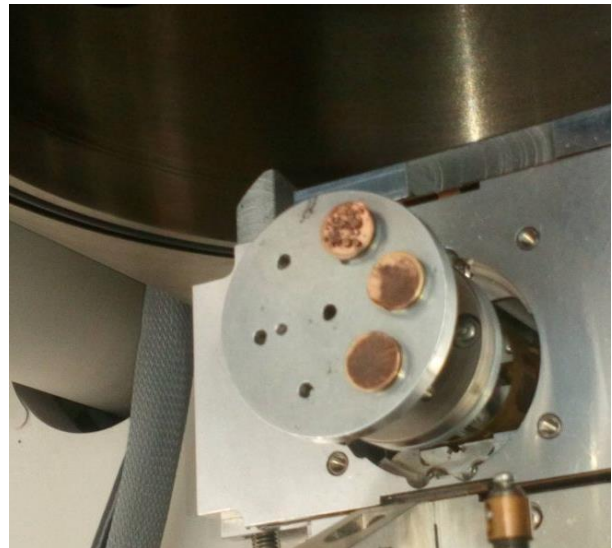
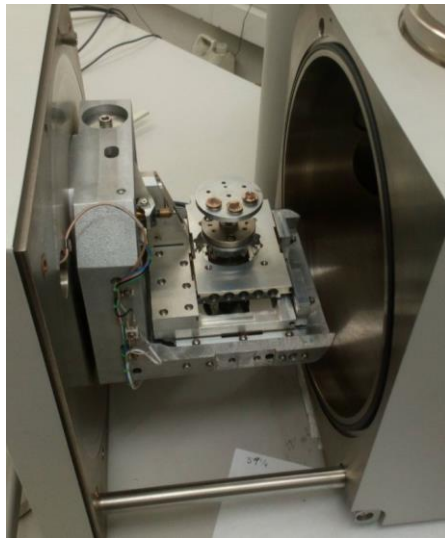


Ilustración 24. Muestras con recubrimiento oro. Fuente: autoría propia.

3.2 DESARROLLO DEL ENSAYO

Para la observación de las muestras de lidita y una vez realizado el recubrimiento con oro y toda la demás preparación de la misma, se utiliza un MEB (microscopio

electrónico de barrido) con el cual se realiza una evaluación morfológica y topográfica con detector de electrones secundarios o electrodispersos con lo que se obtiene el porcentaje de contenido de los elementos que componen la muestra junto con la identificación de formas simétricas que indiquen la presencia de contenido de radiolarios.

En el proyector del equipo MEB se muestran las imágenes ampliadas de la muestra en la cual se alcanza a visualizar partículas de hasta a 20 micras. De acuerdo al barrido realizado, se procede con la selección de imágenes que satisfagan con lo buscado.

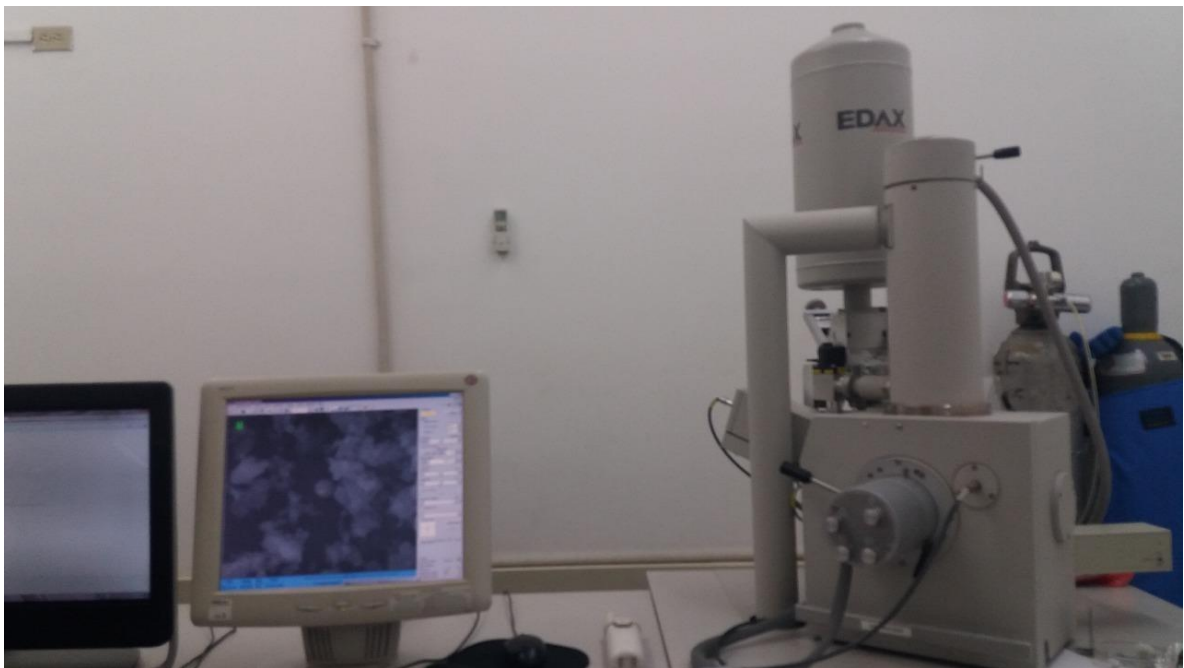


Ilustración 25. Equipo MEB. Fuente: autoría propia.

3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de realizada la observación de las muestras y seleccionadas las imágenes, el laboratorio realiza la entrega de los resultados en los cuales se obtienen los siguientes datos:

	LIDITAS	
	SHORT	LONG
Element	Wt %	Wt %
C	0	0
O	36.95	50.87
Al	7.13	5.82
Si	54.51	42.75
Fe	1.4	0.55
Total	100	100

Tabla 3. Porcentaje en peso de elementos en la muestra.

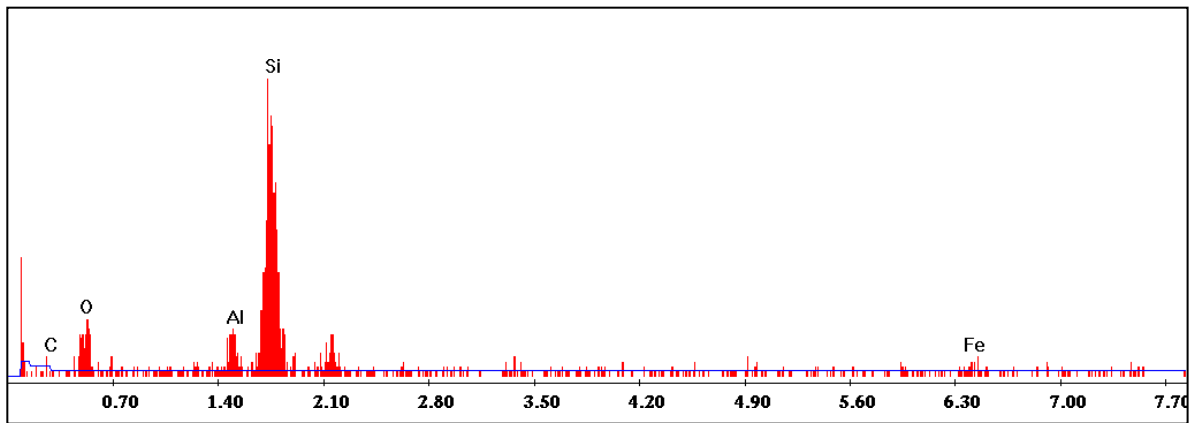


Ilustración 26. Picos de contenido de elementos Lidita Short. Fuente: Laboratorio de microscopia

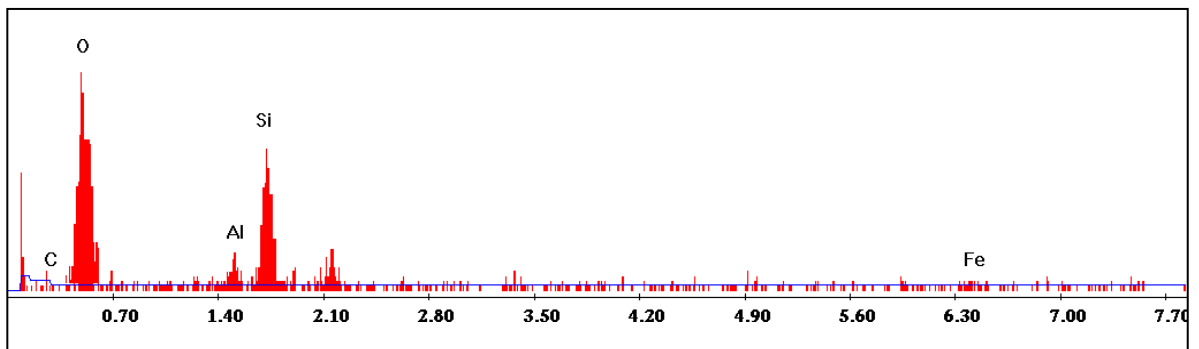


Ilustración 27. Picos de contenido de elementos Lidita Long. Fuente: Laboratorio de microscopia

Cuando hablamos de rocas silíceas sedimentarias nos estamos refiriendo a rocas cuyo principal constituyente son minerales de sílice (SiO_2) Con porcentajes superiores a 50%, es interesante aclarar los conceptos de mineral y roca ya que en ocasiones se producen confusiones a la hora de aplicar los términos de mineral silicio y roca silícea:

Mineral: es un elemento o compuesto inorgánico, natural y homogéneo con una composición química definida o que varía dentro de límites concretos; y una estructura cristalina estable.

Roca: es un agregado compuesto por uno o más minerales. (Dialnet-RocasSilíceasSedimentarias, Gasteiz , Krej, 1998).

En la tabla 3 se puede evidenciar el contenido de diferentes elementos en la composición de las muestras, y como se puede observar, el alto contenido de sílice es evidente, así como el alto contenido de oxígeno, estos dos aspectos pueden indicarnos que son materiales con una gran dureza.

Se puede observar en comparación de las dos muestras de Lidita que la short contiene un mayor contenido de silicio lo que puede indicar que esta tiene una mayor dureza que la Lidita Long, asimismo, esta última contiene una mayor parte de oxígeno, lo cual debido a la presencia de ese material orgánico puede facilitar el crecimiento de microorganismos y plantas que afecten el comportamiento en el momento que se use para alguna actividad de construcción.

3.4 FORMAS ENCONTRADAS EN LA MICROSCOPIA

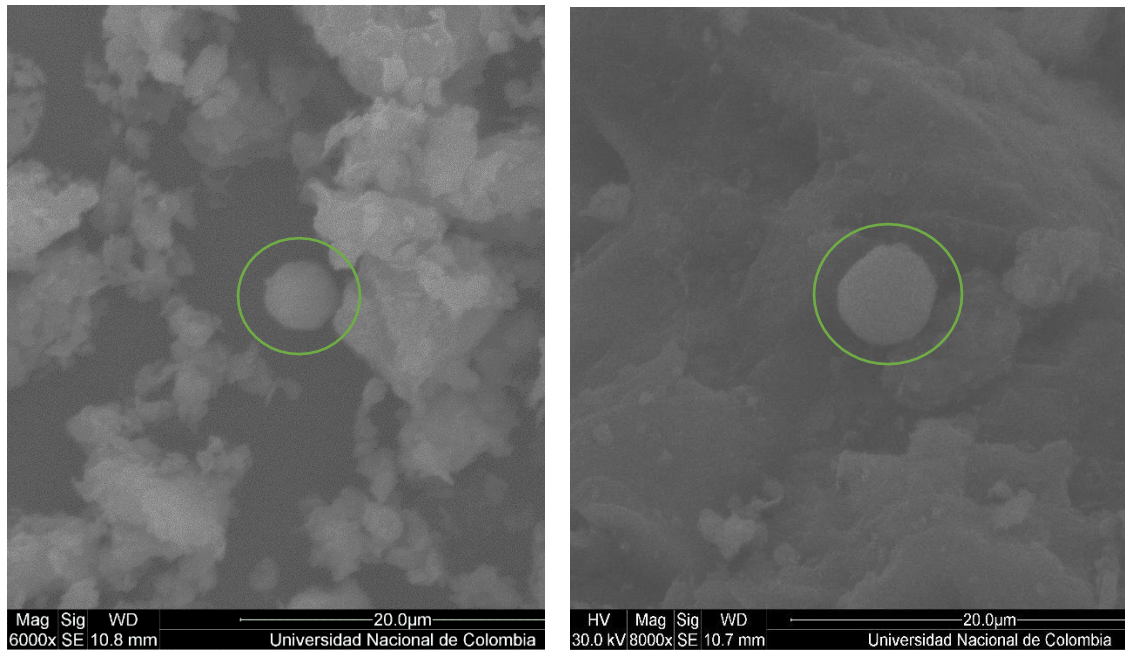


Ilustración 28. Resultado de microscopía Lidita short. Fuente: Laboratorio de microscopia

Se estima que los hallazgos que corresponden a formas circulares muy cercanas a ser simétricas pueden llegar a ser compuesta con algún tipo de estructura ósea que realice permita un acercamiento a afirmar que contenga contenidos de radiolarios.

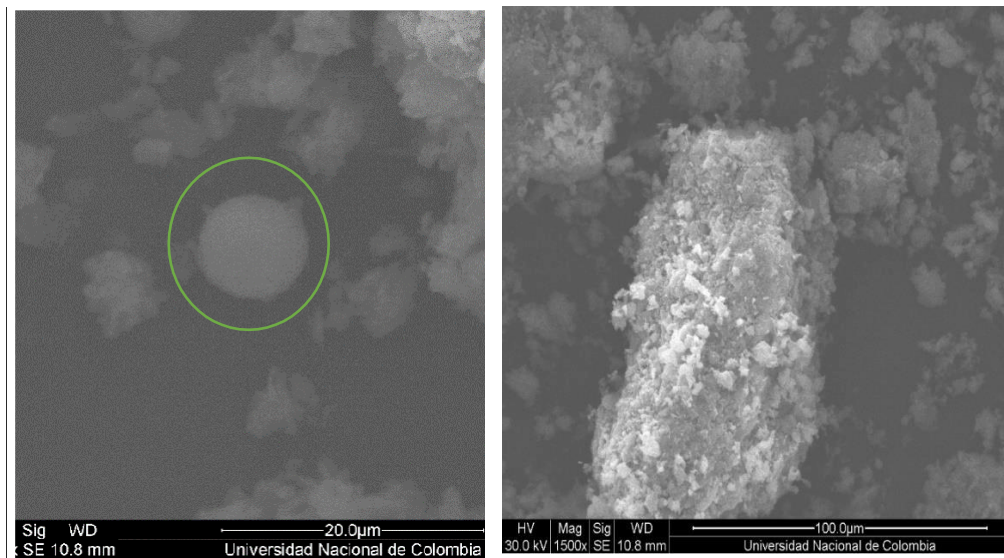


Ilustración 29. Resultado de microscopía Lidita Long. Fuente: Laboratorio de microscopia

A continuación, se muestra diferentes tipos de formas esqueléticas de radiolarios con las cuales se puede realizar una comparación de las formas circulares que se encontraron en la microscopía electrónica de barrido y determinar una muy alta probabilidad de encontrarlos en las muestras estudiadas.

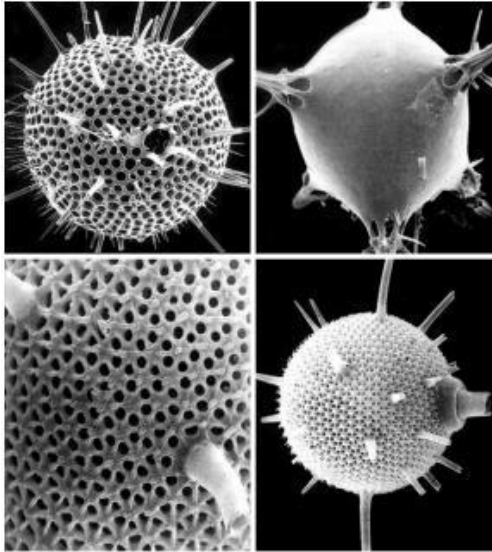


Ilustración 30. Radiolarios óseos. Fuente: RADIOLARIA (PROTOZOA, ACTINOPODA) SEDIMENTED FROM THE CALDERA PORT (27°04' S; 70°51' W), CHILE

4. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.

Para la determinación de las características mecánicas e hidráulicas de las muestras Lidita se requiere del desarrollo de diferentes ensayos de laboratorio que se enumeran a continuación:

- Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo, roca y mezclas de suelo -agregado
- Análisis granulométrico por medio del hidrómetro
- Límites de Attemberg con cazuela de Casagrande
- Límite líquido y límite plástico por penetración con cono de caída.
- Compresión inconfiada
- Corte directo
- Consolidación

4.1 DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DEL SUELO

Se desarrolla el ensayo de laboratorio con las 2 muestras pertenecientes a el tipo de suelo liditas, con contenido de radiolarios, donde se puede ver claramente el alto porcentaje de humedad existente entre la masa del agua dentro de la estructura del suelo en ambas muestras.

La muestra Long en los pesos que se desarrollan y toman en el laboratorio, se evidencia que es más pesado estando húmedo así mismo que en la muestra seca puesta en el horno a una temperatura constante de $110 \pm 5^\circ$ C. respecto a la otra muestra ensayada de tipo Short.

Los valores obtenidos en el laboratorio se muestran a continuación:

Tabla 4. Datos ensayo de Humedad Lidita Short

Muestra	Profundidad (m)			Recipiente N°	W Recipiente (gr)	W Reci+ Muestra Humeda (gr)	W Reci+ Muestra Seca (gr)	% Humedad
SHORT	0.00	-	0.70	2B	5.71	49.7	32.78	62.50

Tabla 5. Datos ensayo de Humedad Lidita Long

Muestra	Profundidad (m)			Recipiente N°	W Recipiente (gr)	W Reci+ Muestra Humeda (gr)	W Reci+ Muestra Seca (gr)	% Humedad
LONG	0.00	-	0.70	3B	5.25	53.2	35.3	59.57

Se puede evidenciar que la diferencia de humedad natural entre los dos tipos de muestra es mínima, con lo que podemos concluir que la aivez de los dos materiales es muy similar.

4.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO

Este método de prueba cubre las determinaciones cuantitativas de la distribución de tamaño de las partículas de las fracciones finas de los suelos. (I.N.V. E – 124 – 13) para partículas de suelo menores a 75 µm.

Se realizó la prueba de hidrometría con unas muestras de lidita de 55 g que corresponden a la masa mínima de material en caso de suelos arcillosos. Esta muestra se trabaja con una masa sin secado al horno para conservar el contenido de humedad natural.

Se utilizó en el laboratorio un equipo de lectura de hidrometría referencia 152H, con el cual se determina los valores de coeficiente K y L respecto a la lectura en el equipo.

A continuación se presentan los resultados de las mediciones para cada tipo de muestra.

Tabla 6. Resultado hidrometría Lidita Long

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO - LIDITA LONG						
Gris	Masa inicial (g)	55,00	152H		Gs	2,65
Tiempo	Temperatura	R	P (%)	L	K	D (mm)

0,25	21	40	72,29	9,7	0,0133296	0,0830
0,5	21	38	68,68	10,1	0,0133296	0,0599
1	21	35	63,25	10,6	0,0133458	0,0435
2	21	32	57,83	11,1	0,0133458	0,0314
4	21	27	48,80	11,9	0,0133458	0,0230
8	21	24	43,37	12,4	0,0133458	0,0166
16	21	20	36,15	13,0	0,0131028	0,0118
30	21	17	30,72	13,5	0,0132972	0,0089
60	21	15	27,11	13,8	0,0132810	0,0064
120	20	13	23,49	14,2	0,0133458	0,0046
240	20	12	21,69	14,3	0,0133458	0,0033
480	20	11	19,88	14,5	0,0133782	0,0023
1440	20	10	18,07	14,7	0,0133620	0,0014

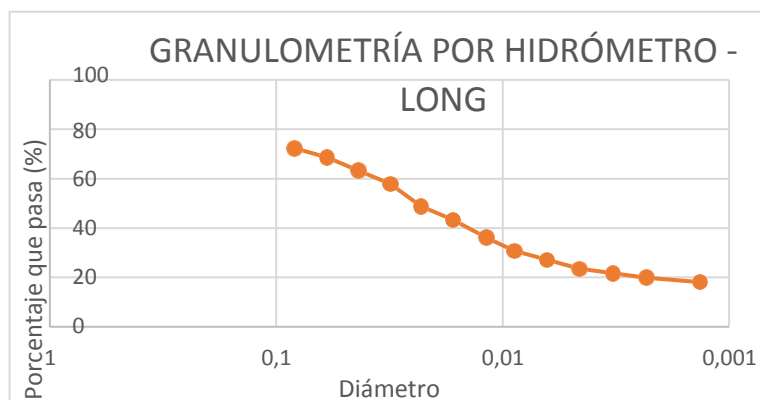


Ilustración 31. Granulometría Lidita Long

Fuente: Autores

La curva de granulometría nos muestra que aproximadamente un 30% de las partículas son de un tamaño mayor dado que se sedimentan más rápido en el equipo. Después de ello se presenta una distribución mucho más lineal indicando que la muestra presenta una buena gradación.

Tabla 7. Resultado hidrometría Lidita Short

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO - LIDITA SHORT						
	Masa inicial (g)	55,00	152H		Gs	2,6
Tiempo	Temperatura	R	P (%)	L (cm)	K	D (mm)
0,25	21	40	72,29	9,9	0,01369	0,0861

0,5	21	38	68,68	10,2	0,01369	0,0618
1	21	35	63,25	10,9	0,01369	0,0452
2	21	32	57,83	11,4	0,01369	0,0327
4	21	27	48,80	11,2	0,01369	0,0229
8	21	24	43,37	12,4	0,01369	0,0170
16	20	20	36,15	13,0	0,01386	0,0125
30	20	17	30,72	13,8	0,01386	0,0094
60	20	15	27,11	14,0	0,01386	0,0067
120	20	13	23,49	14,2	0,01386	0,0048
240	20	12	21,69	14,5	0,01386	0,0034
480	20	11	19,88	14,7	0,01386	0,0024
1440	20	10	18,07	15,0	0,01386	0,0014

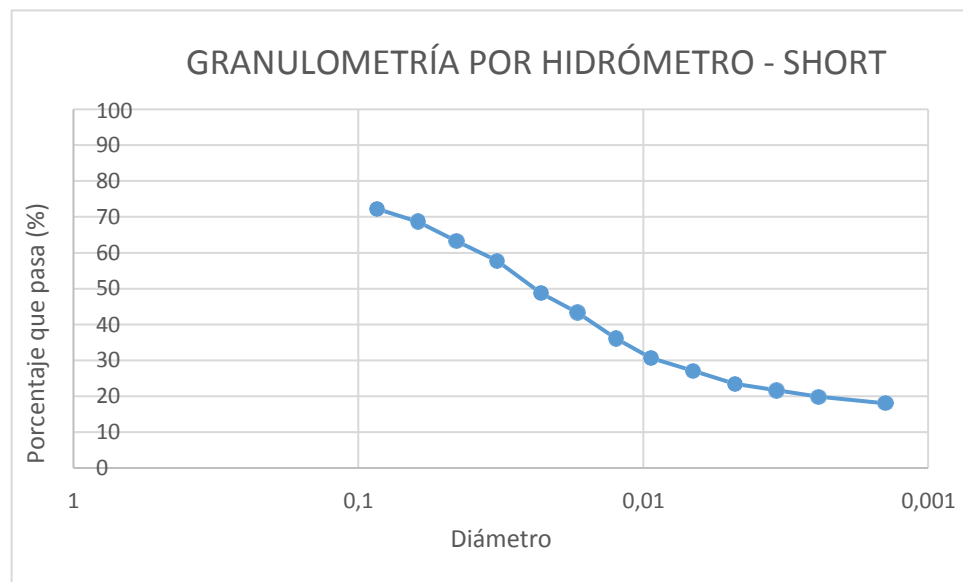


Ilustración 32. Granulometría Lidita Short

Fuente: Autores

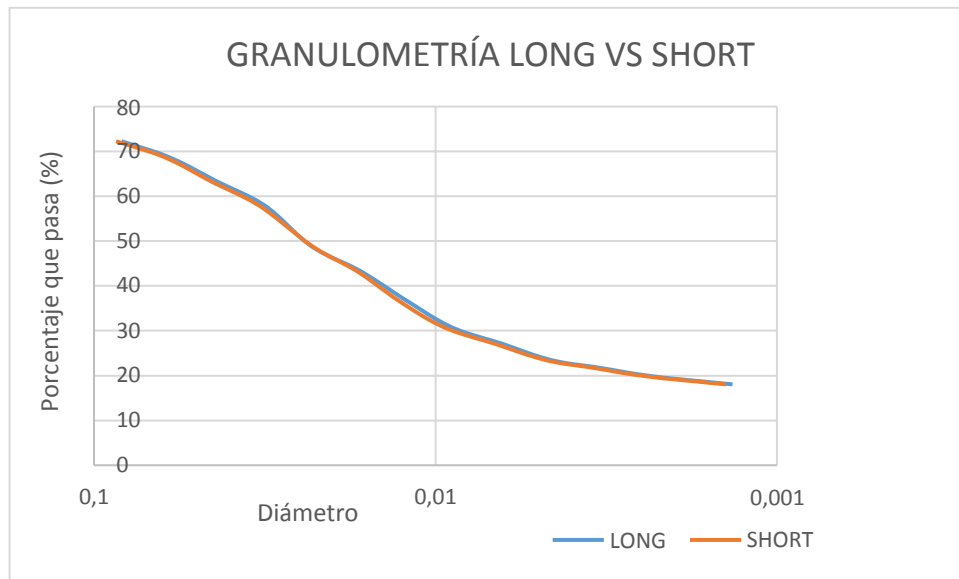


Ilustración 33. Comparación granulometría

Fuente: Autores

Como se puede observar en la ilustración 33 de comparación entre las granulometrías de las dos muestras de Lidita, no se presentan mayores diferencias en la distribución del tamaño de partículas, e indiscutiblemente se presenta una gran similitud de la misma lo cual se puede deber a que el material de las dos muestras fue extraído de dos zonas cercanas.

4.3 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO DE LOS SUELOS

4.3.1 Método con cazuela de Casagrande

Se realizó el ensayo de laboratorio a los dos tipos de muestra de Lidita, tanto a la Short como a la Long. Al tratar de desarrollar el laboratorio, el material mostró un comportamiento no óptimo para realizar la prueba, se presentó una baja consistencia con un desmoronamiento de las partículas comportándose como una arena, y al humedecerlo tampoco se da el manejo, de este modo la determinación de valores en el suelo que se utiliza con estos límites para la compresibilidad, permeabilidad y el índice de plasticidad son difíciles de obtener.

Los valores para el cálculo de este ensayo no se estiman ya que como se mencionó anteriormente, el suelo no deja desarrollar esta práctica por lo tanto se concluye lo siguiente:

Tabla 8. Límites casuela de Casagrande

LIMITES DE ATTEMBERG LIDITA SHORT Y LONG	
Límite Líquido:	N.L
Límite plástico:	N.P
Índice de plasticidad:	N.P
Comportamiento:	Semisólido

Debido a no obtener valores y de esta manera no poder encontrar una gráfica que logre identificar la clasificación del suelo, se utiliza un método el cual es la aplicabilidad del cono de penetración respaldado por la norma británica BS 1377:1990 en la determinación del límite líquido en suelos de baja y media plasticidad.

4.3.2 Método con cono de penetración por caída

La práctica se desarrolla con las muestras del suelo de Lidita en sus dos tipos, tomando los datos respectivos a sus penetraciones y los valores de pesos para tener el conocimiento de su porcentaje de humedad (%w).

Es necesario realizar 4 pruebas con diferentes humedades con el fin de obtener penetraciones distintas lograr realizar una gráfica con línea de tendencia lineal y obtener la ecuación que nos permita conocer el porcentaje de humedad con una penetración de 20 mm. La práctica se realiza con 2 tipos de conos con pesos diferentes que diferencian el límite líquido del límite plástico, pero en común se tiene que el límite es el porcentaje de humedad a una penetración de 20 mm.

Límite líquido: cono de 80 gf

Límite plástico: cono de 240 gf

4.3.2.1 Limite líquido muestra Lidita Long

Tabla 9. Límite líquido Lidita Long

MUESTRA LONG	LÍMITE LIQUIDO			
Muestras	1	2	3	4
Penetración (cm)	2.6	1.40	1.80	2.30
W del recipiente (gr)	13.3	12.20	13.62	12.16
W muestra húmeda + recipiente (gr)	23.9	21.74	24.44	25.97
W muestra seca + recipiente (gr)	21.55	19.87	22.16	22.98
Humedad W (%)	28.48	24.38	26.70	27.63
Límite Líquido	26.72			

Se trabaja con los datos obtenidos de penetración contra el porcentaje de humedad para obtener el límite líquido y el límite plástico el cuál sería la humedad que correspondería a una penetración de 20 mm en la gráfica semi-logarítmica.

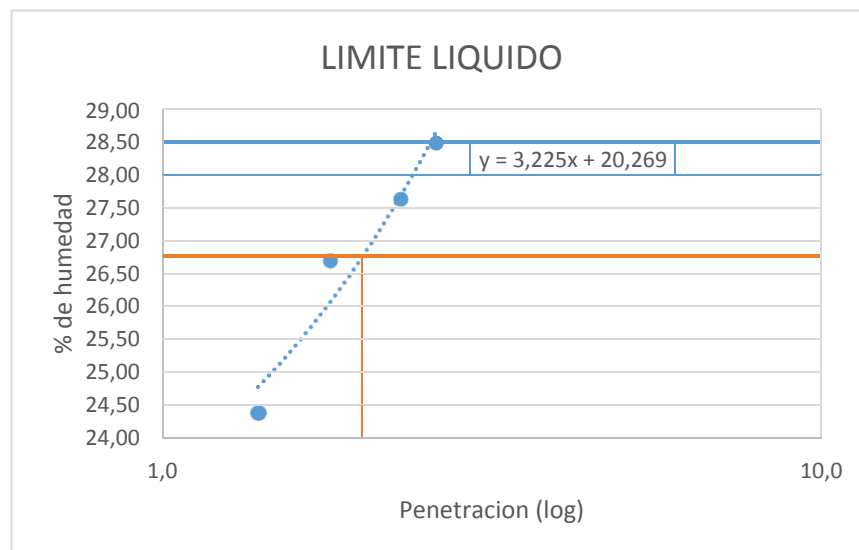


Ilustración 34. Límite líquido Lidita Long

Fuente: Autores

El punto que nos identifica el % de humedad del límite líquido como plástico se halla desarrollando la ecuación que nos entrega la recta

4.3.2.2 Limite Plástico muestra Lidita Short

Tabla 10. Límite plástico Lidita Short

MUESTRA LONG	LÍMITE PLÁSTICO			
Muestras	1	2	3	3
Penetración (cm)	2.40	1.70	1.30	2.00
W del recipiente (gr)	14.78	13.75	14.00	13.98
W muestra húmeda + recipiente (gr)	29.15	26.80	25.53	27.51
W muestra seca + recipiente (gr)	26.00	24.88	23.93	24.62
Humedad W (%)	28.07	17.25	16.11	27.16
Límite plástico	24.01			

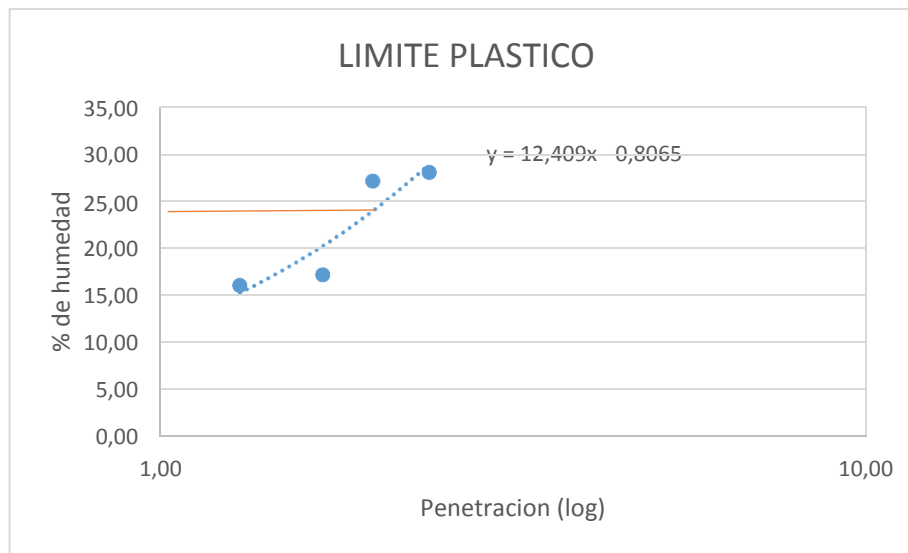


Ilustración 35. Límite plástico Lidita Short

Fuente: Autores

Para que la humedad sea homogénea en toda la muestra se debe realizar una mezcla durante un tiempo determinado. Al colocar la muestra en el recipiente para la prueba se debe garantizar la liberación de aire y una superficie plana para la colocación del cono.

4.3.2.3 Índice de plasticidad muestra Lidita Long

Se puede definir el Índice de Plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

Índice de Plasticidad = Límite Líquido - Límite Plástico.

Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el Índice de Plasticidad se informará con la abreviatura NP (No plástico). - Asimismo cuando el límite plástico resultante igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP. (I.N.V. E – 126).

Tabla 11. Índice de plasticidad Lidita Long.

Límite Líquido	26.72
Límite plástico	24.01
Índice de plasticidad	2.71

El ensayo realizado para la muestra de Lidita Long se desarrolla de la misma manera para la segunda muestra Lidita Short. Y de esta manera se realizan los mismos cálculos y se obtiene la siguiente información:

4.3.2.4 Limite Líquido muestra Lidita Short

Tabla 12. Límite líquido Lidita Short

MUESTRA SHORT	LÍMITE LIQUIDO			
Muestras	1	2	3	4
Penetración (cm)	2.50	1.50	1.80	2.20
W del recipiente (gr)	13.42	12.25	13.58	13.10
W muestra húmeda + recipiente (gr)	24.80	21.30	23.22	24.30
W muestra seca + recipiente (gr)	22.10	19.50	21.30	22.00
Humedad W (%)	31.11	24.83	24.87	25.84
Límite Líquido	26.66			

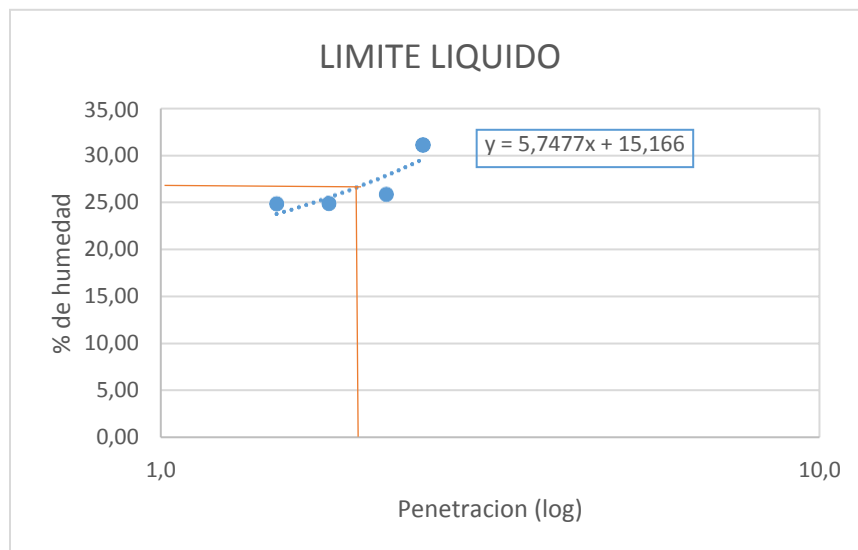


Ilustración 36. Límite líquido Lidita Short

Fuente: Autores

4.3.2.5 Límite Plástico muestra Lidita Short

Tabla 13. Límite plástico Lidita Short

MUESTRA SHORT	LÍMITE PLÁSTICO			
	1	2	3	3
Penetración (cm)	2.30	1.60	1.40	2.00
W del recipiente (gr)	14.55	13.35	13.88	14.02
W muestra húmeda + recipiente (gr)	28.00	25.34	25.00	27.75
W muestra seca + recipiente (gr)	25.30	22.98	23.00	25.00
Humedad W (%)	25.12	24.51	21.93	25.05
Límite plástico	24.67			

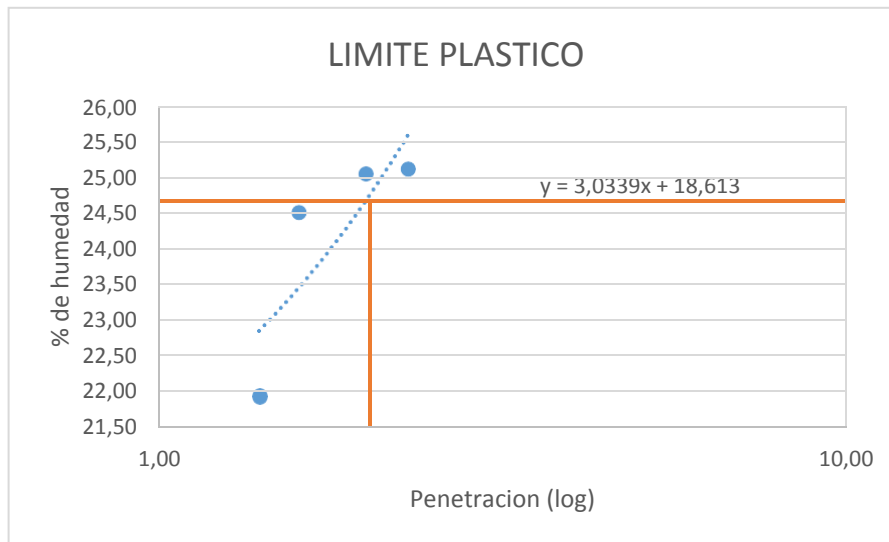


Ilustración 37. Límite plástico Lidita Short

Fuente: Autores

4.3.2.6 Índice de plasticidad muestra Lidita Short

Se calcula el índice de plasticidad con los valores obtenidos y se realiza la clasificación respectiva en la carta de plasticidad obteniendo valores similares al tipo de muestra de la Lidita Long. A Continuación, se muestran los valores del índice de plasticidad

Tabla 14. Índice de plasticidad Lidita Short

Límite Líquido	26.66
Límite plástico	24.67
Índice de plasticidad	1.99

En el gráfico de la carta de plasticidad se define el tipo al cual pertenece el suelo con sólo los valores de límite líquido e índice de plasticidad.

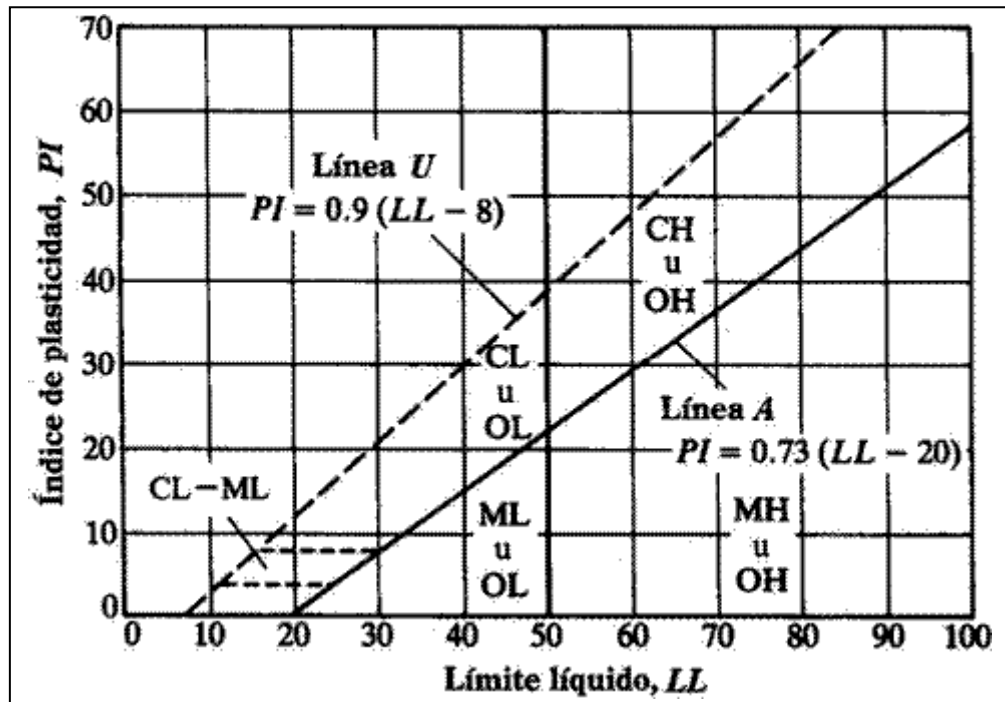


Ilustración 38. Cartilla clasificación suelos.

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das

Con los datos obtenidos en el ensayo del cono y el cálculo del índice de plasticidad ubicamos en la carta la intersección de los valores y damos resultado al tipo de suelo.

La línea A es un límite establecido empíricamente que separa las arcillas inorgánicas CL y CH (C inicial de clay, arcilla en inglés), que generalmente queda en su parte superior, de los limos inorgánicos ML y MH (M inicial de mo, palabra sueca), los suelos con materia orgánica coloidal (OL y OH), y algunos otros suelos, que generalmente quedan por debajo de la línea A. (*Aplicabilidad del penetrómetro cónico en la determinación del límite líquido en suelos de baja y media plasticidad – Rabat, Blázquez, Álvaro*).

4.4 COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS

El ensayo de la compresión inconfiada se realiza para los dos tipos de muestra que se tienen del suelo Lidita tipo Long como para la tipo Short.

Para el desarrollo del ensayo de compresión inconfiada se toma la información respectiva de la muestra moldeada que se debe llevar a la aplicación de carga axial, de esta manera obtenemos los valores referidos a los pesos, volumen, y demás aspectos para poder desarrollar el ensayo.

Se debe medir, el diámetro, la altura, humedad, densidad húmeda y densidad seca. El cálculo del contenido de humedad se debe realizar ya que con el valor que se colecta se desarrolla el valor del peso unitario seco inicial así como el valor de la masa seca inicial. A continuación, se muestran los datos obtenidos en el laboratorio de la muestra de suelo para la Lidita tipo Long:

Tabla 15. Contenido de humedad Lidita Long

CONTENIDO DE HUMEDAD	
N° de capsula	2B
Peso capsula	5.71
Peso capsula + Wmh	49.7
Peso capsula + Wms	32.78
Humedad %	62.50

Tabla 16. Datos para compresión inconfiada Lidita Long

MEDICIÓN	VALOR	UND
Diámetro muestra	5.18	cm
Altura muestra	10.78	cm
Área inicial muestra	21.07	cm ²
Relación Altura Diámetro	2.08	
Volumen de la muestra	227.18	cm ³
Peso de la muestra	356.98	g
Peso unitario total	1.571	g/cm ³
Peso unitario seco inicial	1.571	g/cm ³
Masa seca inicial	356.98	g

Teniendo la muestra preparada y lista para recibir las cargas en los tiempos estipulados, Se aplica la fuerza para conseguir la relación de deformación axial unitaria de 0.5% a 2% por minuto y se anota la fuerza en cada porcentaje de deformación establecido.

Se continúa cargando hasta cuando la fuerza disminuya con un incremento de deformación o hasta alcanzar una deformación del 20%. Los datos que se logran coleccionar para la realización de la gráfica, así como para tener el valor de la resistencia de compresión son:

Tabla 17. Datos deformación - esfuerzo Lidita Long

LECTURA ANILLO	CARGA (KN)	CARGA	Deformación unitaria E (%)	ÁREA CORREGIDA	Esfuerzo Normal
1*10E-3 plg	1*10E-4	kgf	E (%)	cm2	Kgf/ cm2
0	0	0	0.000	21.074	0.0000
5	7	0.07	0.118	21.099	0.0033
10	15	0.15	0.236	21.124	0.0071
15	26	0.26	0.353	21.149	0.0123
20	37	0.37	0.471	21.174	0.0175
25	45	0.45	0.589	21.199	0.0212
30	57	0.57	0.707	21.224	0.0269
35	67	0.67	0.825	21.249	0.0315
40	75	0.75	0.942	21.275	0.0353
45	78	0.78	1.060	21.300	0.0366
50	73	0.73	1.178	21.325	0.0342
55	72	0.72	1.296	21.351	0.0337
60	70	0.7	1.414	21.376	0.0327

Una vez finalizado el ensayo se retira con cuidado del equipo, se describe y se realiza un esquema de la forma de la falla, teniendo en cuenta los cálculos correspondientes a la deformación unitaria, área corregida y esfuerzo normal total

- Deformación unitaria: $\epsilon = \Delta L / L_0$

ϵ = Deformación unitaria axial para la carga dada.

ΔL = Cambio en longitud de la muestra, igual al cambio entre la lectura inicial y final del indicador de deformación

L_0 = Longitud inicial de la muestra.

- Área corregida: $A = A_0 / (1 - \epsilon)$.

ϵ = Deformación unitaria axial para la carga dada

A_0 = Área inicial promedio de la probeta. $A_0 = (A_t + 2 A_m + A_b) / 4$

A_t = Área en la parte superior de la probeta

A_m = Área en la parte media de la probeta

A_b = Área de la parte inferior de la probeta

- Esfuerzo normal: $\sigma_c = p / A$

p = Carga aplicada dada,

A = Área de la sección promedio correspondiente.

En el grafico que muestra la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria. Se toma el valor mayor de la carga unitaria o el que corresponda al 20% de deformación, el que ocurra primero entre las dos, y se puede ver la resistencia a la compresión inconfiada.

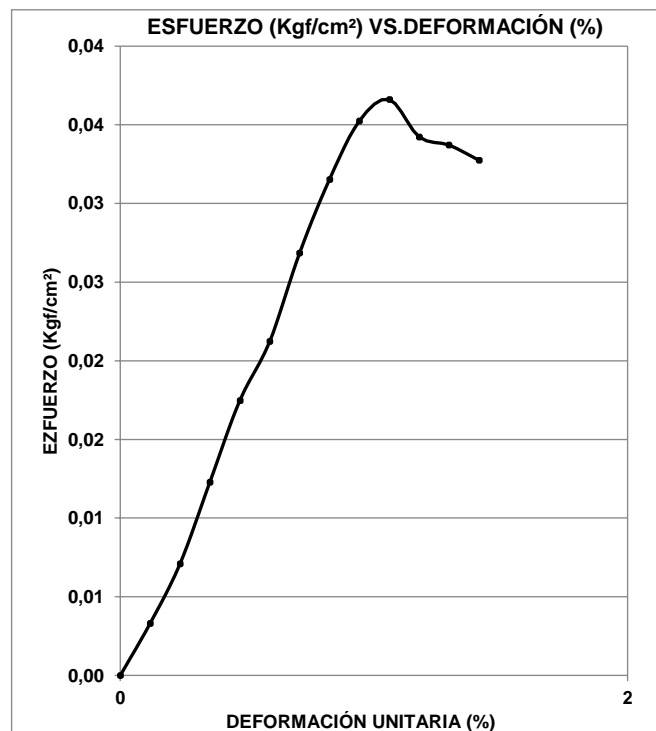


Ilustración 39. Grafico deformación - esfuerzo Lidita Long

La resistencia a la compresión inconfiada del suelo es el esfuerzo máximo alcanzado durante el ensayo:

Tabla 18. Resistencia a la compresión y corte Lidita Long

Resistencia a la compresión			Resistencia al corte no drenada		
qu=	0.037	kgf/cm ²	Cu=	0.018	kgf/cm ²
qu=	3.662	KPa	Cu=	1.831	KPa

Con este resultado se puede calificar la consistencia del suelo como muy blanda, blanda, mediana, firme, muy firme y dura de acuerdo con la tabla de la norma de INVIAS para este ensayo.

Tabla 19. Consistencia del suelo según resistencia a la compresión INV E-152-13

Consistencia del Suelo	Resistencia a la Compresión Inconfiada	
	Kg/cm ²	(kPa)
Muy blanda	< 0.25	(< 25)
Blanda	0.25-0.50	(25 - 50)
Mediana	0.50-1.00	(50 - 100)
Firme	1.00-2.00	(100 - 200)
Muy firme	2.00-4.00	(200 - 400)
Dura	>4.00	(> 400)

El resultado de la muestra del suelo de Lidita Long, con contenido de radiolarios, se obtuvo una resistencia de 3.662 Kpa la cual se encuentra en un tipo de consistencia muy blanda.

A continuación, se muestran los datos obtenidos del ensayo para la muestra tipo Lidita Short que corresponden al mismo proceso desarrollado anteriormente.

Tabla 20. Contenido de humedad Lidita Short

CONTENIDO DE HUMEDAD	
N° de capsula	2B
Peso capsula	5.86
Peso capsula + Wmh	50.15

Peso capsula + Wms	34.80
Humedad %	53.0

Tabla 21. Datos para compresión inconfiada Lidita Short

MEDICIÓN	VALOR	UNIDAD
Diámetro muestra	5.25	cm
Altura muestra	10.75	cm
Área inicial de muestra	21.65	cm ²
Relación Altura Diámetro	2.05	
Volumen de la muestra	232.71	cm ³
Peso de la muestra	374.29	g
Peso unitario total	1.608	g/cm ³
Peso unitario seco inicial	1.051	g/cm ³
Masa seca inicial	244.57	g

Los datos que se logran recolectar para la realización de la gráfica, así como para tener el valor de la resistencia de compresión son:

Tabla 22. Datos deformación - esfuerzo Lidita Short

LECTURA ANILLO	CARGA (KN)	CARGA	Def unit E (%)	ÁREA CORREGIDA	Esfuerzo Normal
1*10E-3 plg	1*10E-4	kgf	E (%)	cm ²	Kgf/ cm ²
0	0	0	0.000	21.648	0
5	8	0.08	0.118	21.673	0.0037
10	16	0.16	0.236	21.699	0.0074
15	24	0.24	0.354	21.725	0.0110
20	35	0.35	0.473	21.750	0.0161
25	45	0.45	0.591	21.776	0.0207
30	59	0.59	0.709	21.802	0.0271
35	66	0.66	0.827	21.828	0.0302
40	73	0.73	0.945	21.854	0.0334
45	78	0.78	1.063	21.880	0.0356
50	72	0.72	1.181	21.906	0.0329
55	70	0.7	1.300	21.933	0.0319
60	72	0.72	1.418	21.959	0.0328

En el siguiente grafico se muestra la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria obtenida de los valores calculados en el cuadro anterior:

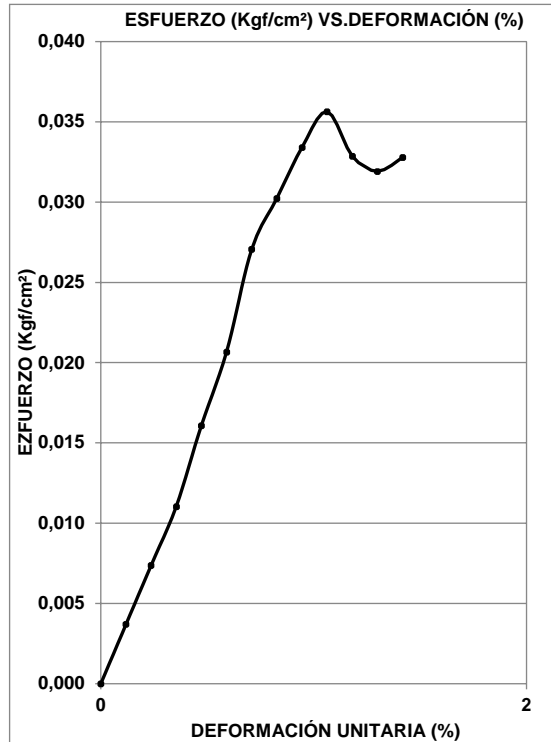


Ilustración 40. Gráfico deformación - esfuerzo Lidita Short

La resistencia a la compresión confinada del suelo es el esfuerzo máximo alcanzado durante el ensayo:

Tabla 23. Resistencias del suelo

Resistencia a la compresión		
qu=	0.036	kgf/cm ²
qu=	3.565	Kpa

Resistencia al corte no drenada		
Cu=	0.018	kgf/cm ²
Cu=	1.782	Kpa

De acuerdo con la tabla de la norma de INVIAS para este ensayo. El resultado de la muestra del suelo de LIDITA SHORT, con contenido de radiolarios, es similar a los resultados del otro tipo de muestra p aunque su resistencia fue menor pero de

igual manera se identifica en un tipo de consistencia muy blanda ya que su valor obtenido en la resistencia a la compresión es de 3.565 KPa.

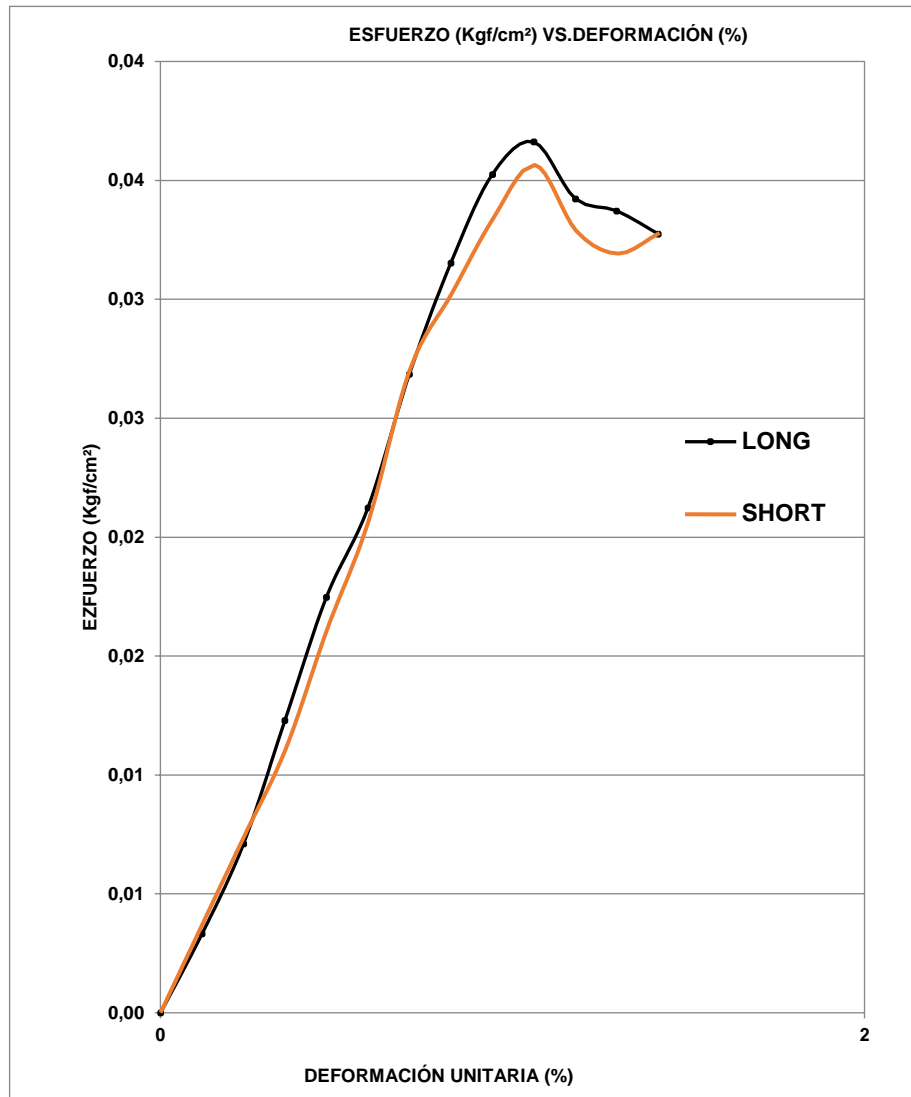


Ilustración 41. Deformación - esfuerzo Lidita Short vs Long

La gráfica anterior refleja una clara comparación de la resistencia a la compresión de las dos muestras de Lidita, donde se puede observar una gran similitud y una variación muy mínima, especialmente la Lidita Short se deforma a un esfuerzo un poco menor que la Lidita Long, pero la diferencia no es significativa.

4.5 ENSAYO DE CORTE DIRECTO I.N.V. E – 154 – 13

En el ensayo de corte directo se realizan los procedimientos a las muestras de suelos de Lidita con contenidos de radiolarios para poder determinar la resistencia al corte de la muestra consolidada y drenada, encontrando en este laboratorio la máxima resistencia como la resistencia residual.

El método de corte directo es apropiado para un ensayo consolidado y drenado; tiene la particularidad de que los recorridos para el drenaje a través de la muestra de ensayo son cortos y permiten mejor y más rápidamente la disipación de las presiones de poros. (I. N.V. E – 154).

Para dar inicio a el ensayo se deben tomar varios datos a las muestras moldeadas para garantizar los resultados después de los cálculos correspondientes, también se debe conocer el contenido de humedad de la muestra para obtener los pesos unitarios y las masas secas iniciales.

A continuación, se muestran los valores tomados y calculados de una de las muestras de Lidita con contenido de radiolarios, especificando el tipo de muestra, sección, contenido de humedad y datos iniciales, que anteceden al proceso de la aplicación de la carga. Los valores que se muestran se dan de acuerdo a las respectivas cargas de las cuales son aplicadas a la muestra.

- Lidita Long: esfuerzo 0.25 kg/cm²

Tabla 24. Datos para corte directo Lidita Long a 0.25

MEDICIÓN	VALOR	Unidad
Diámetro muestra	5.01	cm
Altura muestra	2.92	cm
Área inicial muestra	19.71	cm ²
Volumen de la muestra	57.56	cm ³
Peso de la muestra	114.6	g
Carga normal	4.9	kg
Esfuerzo normal	0.25	kg/cm ²
Altura después de consolidada	2.920	cm

Tabla 25. % humedad para corte directo Lidita Long a 0,25

CONTENIDO DE HUMEDAD			TIPO DE MUESTRA	
	INICIAL	FINAL	Inalterada	-
N° de cap	15A	18	Compactada	X
Peso cap	43.5	10.9		
Peso cap + Wmh	295.68	126.74	SECCIÓN DE MUESTRA	
Peso cap + Wms	270.98	96.1	Circular	X
Humedad %	10.9	36.0	Cuadrada	

En la preparación de la muestra se tiene en cuenta que el tallado sea correspondiente a la máquina de corte directo, llevándolo a medidas que cubre la norma en cuanto al diámetro, espesor y altura.

- El diámetro mínimo de las muestras circulares o el ancho mínimo para muestras rectangulares debe ser alrededor de 50 mm (2"). Para minimizar las alteraciones causadas por el muestreo, el diámetro de las muestras obtenidas de tubos saca muestras debe ser, por lo menos, 5 mm (1/5") menor que el diámetro del tubo.
- El espesor mínimo de la muestra de ensayo, debe ser alrededor de 12 mm (1/2"), pero no menor de un sexto el tamaño máximo de las partículas del suelo.
- La relación mínima diámetro/espesor o ancho/espesor, según la muestra, debe ser 2:1.

Después de tener los datos iniciales y hacer la colocación de la muestra en la máquina de corte directo se realiza la aplicación de la carga normal determinada, después se dispone de medios de drenaje, así como de humedecimiento de la muestra, se hace la consolidación bajo la carga normal.

Al obtener la muestra liberada de los marcos se procede a aplicarle la fuerza de corte para hacer fallar la muestra. Generalmente, se ensayan tres o más muestras, cada una bajo fuerza normal diferente, para determinar los efectos sobre la

resistencia al corte y las deformaciones. El intervalo de las cargas normales debe ser apropiado para las condiciones del suelo investigado.

Las cargas aplicadas a el tipo de muestra Lidita Long son respectivamente de 0.25, 1.00 y 1.5 (kg/cm²). Con la obtención de sus valores se procede a realizar las respectivas graficas que nos entregan un resultado claro del comportamiento de la muestra.

Tabla 26. Datos de falla muestra Lidita Long a 0,25

ETAPA DE CONSOLIDACIÓN			FALLADO EN CONDICIÓN	
Deformación. inicial	0	1*10E-4 in	Humedad natural	
Deformación. final	0.06	1*10E-4 in	Saturado	X
Delta	0.150	cm	Velocidad de falla (mm/min)	1.800

Tabla 27. Datos corte directo Lidita Long a 0,25

LECTURA CELDA	LECTURA CELDA	DEFORMACION		FUERZA CORTE	ÁREA CORREGIDA	ESFUERZO		Deformación Horizontal
		HORIZONTAL	VERTICAL			NORMAL	CORTE	
N	Kgf	1*10 ⁻³	1*10 ⁻⁴	Kgf	cm ²	Kg/cm ²	Kgf/cm ²	%
0	0.00	0	0	0.00	19.71	0.250	0.000	0.000
9	0.92	5	5	0.92	19.63	0.251	0.047	0.212
12	1.22	10	5	1.22	19.55	0.252	0.063	0.423
15	1.53	15	6	1.53	19.47	0.253	0.079	0.635
17	1.73	20	9	1.73	19.39	0.254	0.089	0.847
18	1.83	25	10	1.83	19.30	0.255	0.095	1.058
18	1.83	30	12	1.83	19.22	0.256	0.095	1.270
19	1.94	40	14	1.94	19.06	0.259	0.102	1.693
21	2.14	50	16	2.14	18.89	0.261	0.113	2.117
24	2.45	60	19	2.45	18.73	0.263	0.131	2.540
27	2.75	80	21	2.75	18.40	0.268	0.150	3.387
29	2.96	100	25	2.96	18.07	0.273	0.164	4.233
32	3.26	125	29	3.26	17.67	0.279	0.185	5.292
35	3.57	150	33	3.57	17.26	0.286	0.207	6.350
38	3.87	175	35	3.87	16.85	0.293	0.230	7.408
42	4.28	200	39	4.28	16.44	0.300	0.260	8.467
45	4.59	250	41	4.59	15.62	0.316	0.294	10.583
48	4.89	300	45	4.89	14.80	0.333	0.331	12.700
49	4.99	350	47	4.99	13.98	0.353	0.357	14.817
48	4.89	400	48	4.89	13.16	0.375	0.372	16.933
47	4.79	450	49	4.79	12.34	0.399	0.388	19.050
44	4.49	500	55	4.49	11.52	0.428	0.389	21.167

Al detectar que las cargas no aumentan, es decir se vuelven constantes o a descender, se puede decir que el ensayo ha terminado y la falla ha producido.

- Lidita Long: Esfuerzo 1.00 kg/cm²

Tabla 28. Datos para corte directo Lidita Long a 1.0

MEDICIÓN	VALOR	UNIDAD
Diámetro muestra	5.01	cm
Altura muestra	2.92	cm
Área inicial muestra	19.71	cm ²
Volumen de la muestra	57.56	cm ³
Peso de la muestra	115.8	g
Carga normal	19.71	kg
Esfuerzo normal	1.000	kg/cm ²
Altura después de consolidada	2.69	cm

Tabla 29. %humedad Lidita Long a 1,0

CONTENIDO DE HUMEDAD			TIPO DE MUESTRA	
	INICIAL	FINAL		
			Inalterada	-
N° de capsula	12A	79	Compactada	X
Peso capsula	44.1	10.98		
Peso capsula + Wmh	280.65	127.0	SECCIÓN DE MUESTRA	
Peso capsula + Wms	231.8	95.68		
Humedad %	26.0	37.0	Cuadrada	

Tabla 30. Datos de falla Lidita Long a 1,0

ETAPA DE CONSOLIDACIÓN			FALLADO EN CONDICIÓN		
Def. inicial	0	1*10E-4 in	Humedad natural		
Def. final	0.091	1*10E-4 in	Saturado		X
Delta	0.231	cm	Vel. de falla (mm/min)		1.800

Tabla 31. Datos corte directo Lidita Long a 1,0

LECTURA CELDA	LECTURA CELDA	DEFORMACIÓN		FUERZA CORTE	ÁREA CORREGIDA	ESFUERZO		Deformación Horizontal
		HORIZONTAL	VERTICAL			NORMAL	CORTE	
N	Kgf	1*10 ⁻³	1*10 ⁻⁴	Kgf	cm ²	Kg/cm ²	Kgf/cm ²	%
0	0.00	0	0	0.00	19.71	1.000	0.000	0.000
32	3.26	5	5	3.26	19.63	1.004	0.166	0.212
39	3.98	10	9	3.98	19.55	1.008	0.203	0.423
46	4.69	15	10	4.69	19.47	1.013	0.241	0.635
58	5.91	20	16	5.91	19.39	1.017	0.305	0.847
69	7.03	25	17	7.03	19.30	1.021	0.364	1.058
79	8.05	30	21	8.05	19.22	1.026	0.419	1.270
92	9.38	40	28	9.38	19.06	1.034	0.492	1.693
105	10.70	50	29	10.70	18.89	1.043	0.566	2.117
110	11.21	60	35	11.21	18.73	1.052	0.599	2.540
118	12.03	80	39	12.03	18.40	1.071	0.654	3.387
121	12.33	100	39	12.33	18.07	1.091	0.682	4.233
127	12.95	125	39	12.95	17.67	1.116	0.733	5.292
131	13.35	150	42	13.35	17.26	1.142	0.774	6.350
135	13.76	175	48	13.76	16.85	1.170	0.817	7.408
137	13.97	200	55	13.97	16.44	1.199	0.850	8.467
139	14.17	250	57	14.17	15.62	1.262	0.907	10.583
141	14.37	300	59	14.37	14.80	1.332	0.971	12.700
143	14.58	350	62	14.58	13.98	1.410	1.043	14.817
143	14.58	400	64	14.58	13.16	1.498	1.108	16.933
140	14.27	450	67	14.27	12.34	1.598	1.157	19.050
138	14.07	500	72	14.07	11.52	1.711	1.221	21.167

- Lidita Long: Esfuerzo 1.5 kg/cm²

Tabla 32. Datos para corte directo Lidita Long a 1.5

MEDICIÓN	VALOR	UNIDAD
Diámetro muestra	5.01	cm
Altura muestra	2.92	cm
Área inicial muestra	19.71	cm ²
Volumen de la muestra	57.56	cm ³
Peso de la muestra	114.74	g
Carga normal	29.57	kg

Esfuerzo normal	1.50	kg/cm ²
Altura después de consolidada	2.63	cm

Tabla 33. % humedad Lidita Long a 1,5

CONTENIDO DE HUMEDAD			TIPO DE MUESTRA	
	INICIAL	FINAL	Inalterada	-
N° de capsula	12A	85	Compactada	X
Peso capsula	44.1	11		
Peso capsula + Wmh	280.65	121.6	SECCIÓN DE MUESTRA	
Peso capsula + Wms	231.8	90.15		
Humedad %	26.0	39.7	Cuadrada	

Tabla 34. Datos falla Lidita Long a 1,5

ETAPA DE CONSOLIDACIÓN				FALLADO EN CONDICIÓN	
Def. inicial		0	1*10E-4 in	Humedad natural	
Def. final		0.116	1*10E-4 in	Saturado	X
Delta		0.295	cm	Vel. de falla (mm/min)	1.800

Tabla 35. Datos corte directo Lidita Long a 1,5

LECTURA CELDA	LECTURA CELDA	DEFORMACIÓN		FUERZA CORTE	ÁREA CORREGIDA	ESFUERZO		Deformación Horizontal
		HORIZONTAL	VERTICAL			NORMAL	CORTE	
N	Kgf	1*10 ⁻³	1*10 ⁻⁴	Kgf	cm ²	Kg/cm ²	Kgf/cm ²	%
0	0.00	0	0	0.00	19.71	1.500	0.000	0.000
45	4.59	5	25	4.59	19.63	1.506	0.234	0.212
60	6.12	10	26	6.12	19.55	1.513	0.313	0.423
71	7.24	15	29	7.24	19.47	1.519	0.372	0.635
81	8.26	20	32	8.26	19.39	1.525	0.426	0.847
95	9.68	25	32	9.68	19.30	1.532	0.502	1.058
99	10.09	30	32	10.09	19.22	1.538	0.525	1.270

115	11.72	40	32	11.72	19.06	1.552	0.615	1.693
129	13.15	50	48	13.15	18.89	1.565	0.696	2.117
138	14.07	60	49	14.07	18.73	1.579	0.751	2.540
147	14.98	80	52	14.98	18.40	1.607	0.814	3.387
152	15.49	100	56	15.49	18.07	1.636	0.857	4.233
158	16.11	125	58	16.11	17.67	1.674	0.912	5.292
162	16.51	150	59	16.51	17.26	1.714	0.957	6.350
167	17.02	175	62	17.02	16.85	1.755	1.011	7.408
170	17.33	200	63	17.33	16.44	1.799	1.054	8.467
176	17.94	250	64	17.94	15.62	1.893	1.149	10.583
179	18.25	300	68	18.25	14.80	1.998	1.233	12.700
181	18.45	350	72	18.45	13.98	2.115	1.320	14.817
185	18.86	400	76	18.86	13.16	2.247	1.433	16.933
182	18.55	450	78	18.55	12.34	2.396	1.504	19.050
180	18.35	500	85	18.35	11.52	2.567	1.593	21.167

Terminado el proceso de carga normal aplicada en 3 ensayos con diferentes valores, se realiza la gráfica que enmarque la relación existente en el tipo de suelo según su esfuerzo cortante con los valores de la deformación horizontal.

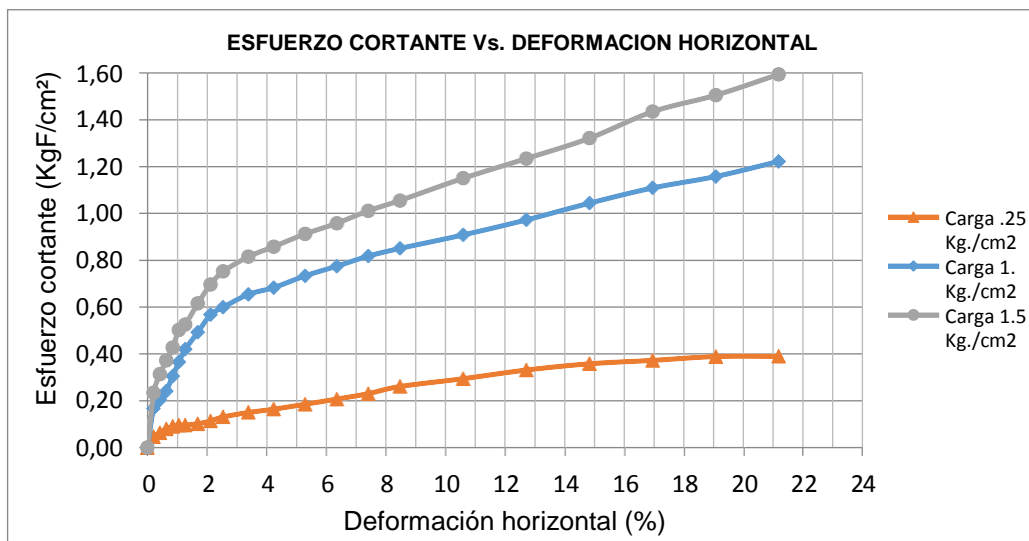


Ilustración 42. Esfuerzo cortante vs deformación Lidita Long

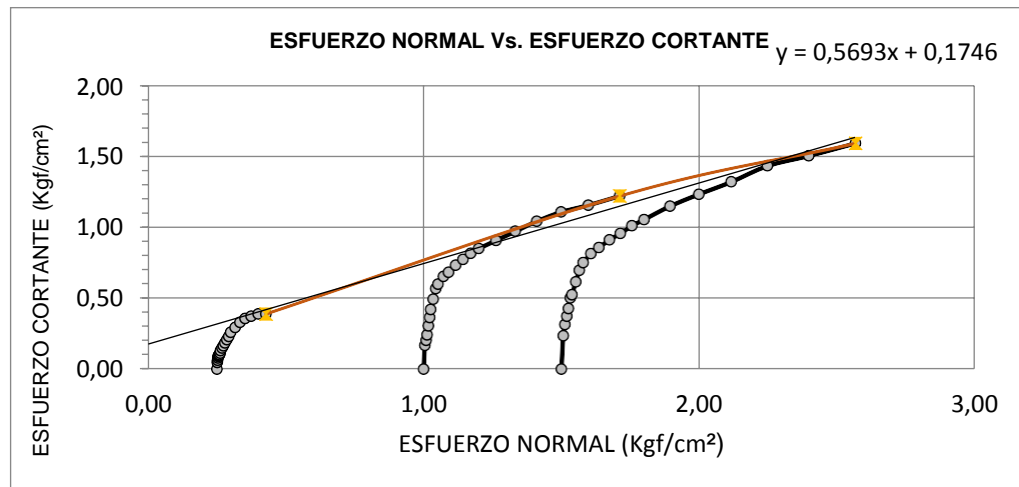


Ilustración 43. Esfuerzo normal vs deformación Lidita Long

Como resultado en cuanto a los valores calculados podemos ver el comportamiento del suelo recibiendo las diferentes cargas normales así también los valores efectivos del ángulo de fricción f' y de la cohesión, c' que resultan de la gráfica anteriormente relacionada.

C= 0.174 Kgf/cm²	$\Phi = 29.64^\circ$
------------------------------------	--

Para suelos cohesivos el método de ensayo determinara los resultados y habrá diferencias entre los mismos, por el contrario, para suelos no cohesivos el resultado no presentara variabilidad significativa, bien sea que estos estén o no saturados.

El proceso que se realiza en la muestra número 1 de Lidita Long se realiza para el otro tipo de suelo conocido como Lidita Short, teniendo en cuenta el procedimiento efectuado, con las cargas que se trabajaron y tomando los valores necesarios a la muestra para realizar el ensayo, de esta manera establecer las diferencias en cuanto a los dos tipos de suelo que posiblemente resultan de obtener resultados de los cálculos.

A continuación, se relaciona la información tomada de la muestra Lidita tipo Short y los datos obtenidos en la realización de la prueba.

- Lidita Short Esfuerzo 0.25 kg/cm².

Tabla 36. Datos para corte directo Lidita Short a 0,25

MEDICIÓN	VALOR	UNIDAD
Diámetro muestra	5.06	cm
Altura muestra	3.00	cm
Área inicial muestra	20.11	cm ²
Volumen de la muestra	60.33	cm ³
Peso de la muestra	115.16	g
Carga normal	5.03	kg
Esfuerzo normal	0.25	kg/cm ²
Altura después de consolidada	2.8095	cm

Tabla 37. % humedad Lidita Short a 0,25

CONTENIDO DE HUMEDAD			TIPO DE MUESTRA	
	INICIAL	FINAL	Inalterada	-
N° de capsula	20	20	Compactada	X
Peso capsula	43.5	10.9		
Peso capsula + Wmh	295.1	126.4	SECCIÓN DE MUESTRA	
Peso capsula + Wms	270.2	95.83	Circular	X
Humedad %	11.0	36.0	Cuadrada	

Tabla 38. Datos falla Lidita Short a 0,25

ETAPA DE CONSOLIDACIÓN				FALLADO EN CONDICIÓN	
Def. inicial		0	1*10E-4 in	Humedad natural	
Def. final		0.075	1*10E-4 in	Saturado	X
Delta		0.191	cm	Vel. de falla (mm/min)	1.800

Tabla 39. Datos corte directo Lidita Short a 0,25

LECTURA CELDA	LECTURA CELDA	DEFORMACIÓN		FUERZA CORTE	ÁREA CORREGIDA	ESFUERZO		Deformación Horizontal
		HORIZONTAL	VERTICAL			NORMAL	CORTE	
N	Kgf	1*10 ⁻³	1*10 ⁻⁴	Kgf	cm ²	Kg/cm ²	Kgf/cm ²	%

0	0.00	0	0	0.00	20.11	0.250	0.000	0.000
11	1.12	5	5	1.12	20.03	0.251	0.056	0.212
13	1.33	10	7	1.33	19.95	0.252	0.066	0.423
15	1.53	15	7	1.53	19.86	0.253	0.077	0.635
19	1.94	20	8	1.94	19.78	0.254	0.098	0.847
19	1.94	25	10	1.94	19.70	0.255	0.098	1.058
20	2.04	30	13	2.04	19.62	0.256	0.104	1.270
22	2.24	40	16	2.24	19.45	0.258	0.115	1.693
23	2.34	50	18	2.34	19.29	0.261	0.122	2.117
24	2.45	60	19	2.45	19.13	0.263	0.128	2.540
27	2.75	80	21	2.75	18.80	0.267	0.146	3.387
30	3.06	100	23	3.06	18.47	0.272	0.166	4.233
33	3.36	125	26	3.36	18.06	0.278	0.186	5.292
35	3.57	150	29	3.57	17.65	0.285	0.202	6.350
37	3.77	175	30	3.77	17.24	0.292	0.219	7.408
40	4.08	200	33	4.08	16.83	0.299	0.242	8.467
44	4.49	250	37	4.49	16.01	0.314	0.280	10.583
46	4.69	300	41	4.69	15.19	0.331	0.309	12.700
47	4.79	350	45	4.79	14.37	0.350	0.333	14.817
46	4.69	400	48	4.69	13.55	0.371	0.346	16.933
45	4.59	450	50	4.59	12.73	0.395	0.360	19.050
41	4.18	500	53	4.18	11.92	0.422	0.351	21.167

- Lidita Short Esfuerzo 1.00 kg/cm²

Tabla 40. Datos para corte directo Lidita Short a 1,0

MEDICIÓN	VALOR	UNIDAD
Diámetro muestra	5.06	Cm
Altura muestra	3.00	cm
Área inicial muestra	20.11	cm ²
Volumen de la muestra	60.33	cm ³

Peso de la muestra	115.89	g
Carga normal	20.11	kg
Esfuerzo normal	1.00	kg/cm ²
Altura después de consolidada	2.77	cm

Tabla 41. % humedad Lidita Short a 1,0

CONTENIDO DE HUMEDAD			TIPO DE MUESTRA	
	INICIAL	FINAL	Inalterada	-
N° de capsula	15	50	Compactada	X
Peso capsula	44.8	11		
Peso capsula + Wmh	281	127.1	SECCIÓN DE MUESTRA	
Peso capsula + Wms	230.8	95.1		
Humedad %	27.0	38.1	Cuadrada	

Tabla 42. Datos falla Lidita Short a 1,0

ETAPA DE CONSOLIDACIÓN				FALLADO EN CONDICIÓN	
Def. inicial		0	1*10E-4 in	Humedad natural	
Def. final		0.091	1*10E-4 in	Saturado	X
Delta		0.231	cm	Vel. de falla (mm/min)	1.800

Tabla 43. Datos corte directo Lidita Short a 1,0

LECTURA CELDA	LECTURA CELDA	DEFORMACIÓN		FUERZA CORTE	ÁREA CORREGIDA	ESFUERZO		Deformación Horizontal
		HORIZONTAL	VERTICAL			NORMAL	CORTE	
N	Kgf	1*10 ⁻³	1*10 ⁻⁴	Kgf	cm ²	Kg/cm ²	Kgf/cm ²	%
0	0.00	0	0	0.00	20.11	1.000	0.000	0.000
29	2.96	5	8	2.96	20.03	1.004	0.148	0.212
33	3.36	10	9	3.36	19.95	1.008	0.169	0.423
40	4.08	15	11	4.08	19.86	1.012	0.205	0.635
48	4.89	20	17	4.89	19.78	1.017	0.247	0.847
58	5.91	25	18	5.91	19.70	1.021	0.300	1.058

71	7.24	30	21	7.24	19.62	1.025	0.369	1.270
85	8.66	40	26	8.66	19.45	1.034	0.445	1.693
98	9.99	50	30	9.99	19.29	1.042	0.518	2.117
101	10.30	60	32	10.30	19.13	1.051	0.538	2.540
111	11.31	80	36	11.31	18.80	1.070	0.602	3.387
115	11.72	100	39	11.72	18.47	1.089	0.635	4.233
121	12.33	125	42	12.33	18.06	1.113	0.683	5.292
126	12.84	150	46	12.84	17.65	1.139	0.728	6.350
131	13.35	175	51	13.35	17.24	1.166	0.775	7.408
137	13.97	200	58	13.97	16.83	1.195	0.830	8.467
143	14.58	250	63	14.58	16.01	1.256	0.910	10.583
148	15.09	300	65	15.09	15.19	1.324	0.993	12.700
151	15.39	350	69	15.39	14.37	1.399	1.071	14.817
148	15.09	400	73	15.09	13.55	1.484	1.113	16.933
145	14.78	450	74	14.78	12.73	1.579	1.161	19.050
141	14.37	500	76	14.37	11.92	1.688	1.206	21.167

- Lidita Short Esfuerzo 1.5 kg/cm²

Tabla 44. Datos para corte directo Lidita Short a 1,5

MEDICIÓN	VALOR	UNIDAD
Diámetro muestra	5.060	cm
Altura muestra	3.000	cm
Área inicial muestra	20.109	cm ²
Volumen de la muestra	60.327	cm ³
Peso de la muestra	114.750	g
Carga normal	30.164	kg
Esfuerzo normal	1.500	kg/cm ²
Altura después de consolidada	2.743	cm

Tabla 45. % humedad Lidita Short a 1,5

	CONTENIDO DE HUMEDAD		TIPO DE MUESTRA	
	INICIAL	FINAL		
			Inalterada	-
N° de capsula	31	32	Compactada	X
Peso capsula	44.32	11.2		
Peso capsula + Wmh	279.2	119.8	SECCIÓN DE MUESTRA	
Peso capsula + Wms	228.3	87.05	Circular	X
Humedad %	27.6	43.1	Cuadrada	

Tabla 46. Datos falla Lidita Short a 1,5

ETAPA DE CONSOLIDACIÓN				FALLADO EN CONDICIÓN	
Def. inicial		0	1*10E-4 in	Humedad natural	
Def. final		0.101	1*10E-4 in	Saturado	X
Delta		0.257	cm	Velocidad de falla (mm/min)	1.800

Tabla 47. Datos corte directo Lidita Short a 1,5

LECTURA CELDA	LECTURA CELDA	DEFORMACIÓN		FUERZA CORTE	ÁREA CORREGIDA	ESFUERZO		Deformación Horizontal
		HORIZONTAL	VERTICAL			NORMAL	CORTE	
N	Kgf	1*10 ⁻³	1*10 ⁻⁴	Kgf	cm ²	Kg/cm ²	Kgf/cm ²	%
0	0.00	0	0	0.00	20.11	1.500	0.000	0.000
52	5.30	5	28	5.30	20.03	1.506	0.265	0.212
68	6.93	10	29	6.93	19.95	1.512	0.348	0.423
69	7.03	15	30	7.03	19.86	1.519	0.354	0.635
77	7.85	20	32	7.85	19.78	1.525	0.397	0.847
87	8.87	25	34	8.87	19.70	1.531	0.450	1.058
92	9.38	30	34	9.38	19.62	1.538	0.478	1.270
103	10.50	40	35	10.50	19.45	1.551	0.540	1.693
110	11.21	50	38	11.21	19.29	1.564	0.581	2.117
125	12.74	60	42	12.74	19.13	1.577	0.666	2.540
132	13.46	80	49	13.46	18.80	1.605	0.716	3.387
139	14.17	100	51	14.17	18.47	1.633	0.767	4.233
143	14.58	125	57	14.58	18.06	1.670	0.807	5.292
148	15.09	150	59	15.09	17.65	1.709	0.855	6.350
154	15.70	175	64	15.70	17.24	1.749	0.911	7.408
161	16.41	200	65	16.41	16.83	1.792	0.975	8.467
174	17.74	250	66	17.74	16.01	1.884	1.108	10.583
179	18.25	300	68	18.25	15.19	1.985	1.201	12.700
179	18.25	350	73	18.25	14.37	2.099	1.269	14.817
184	18.76	400	79	18.76	13.55	2.225	1.384	16.933
184	18.76	450	82	18.76	12.73	2.369	1.473	19.050
182	18.55	500	88	18.55	11.92	2.531	1.557	21.167

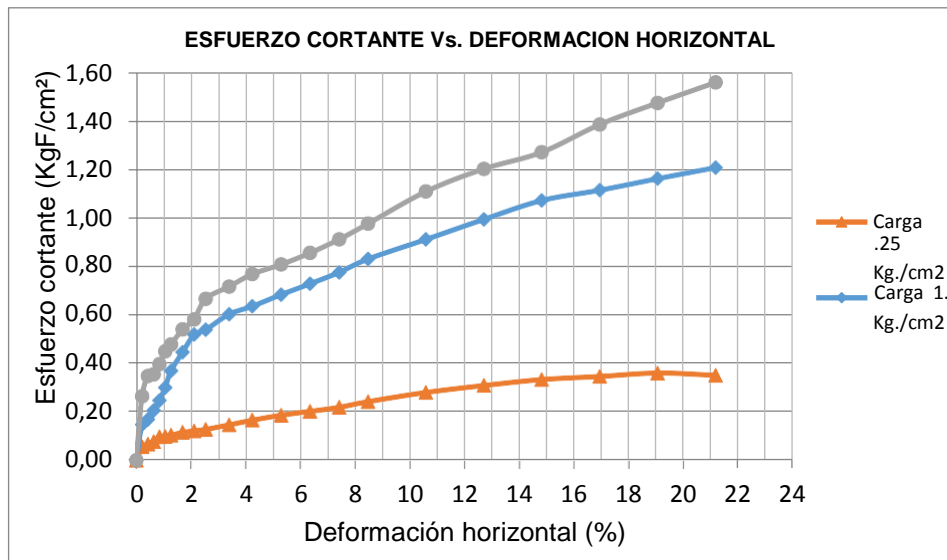


Ilustración 44. Esfuerzo cortante vs deformación Lidita Short

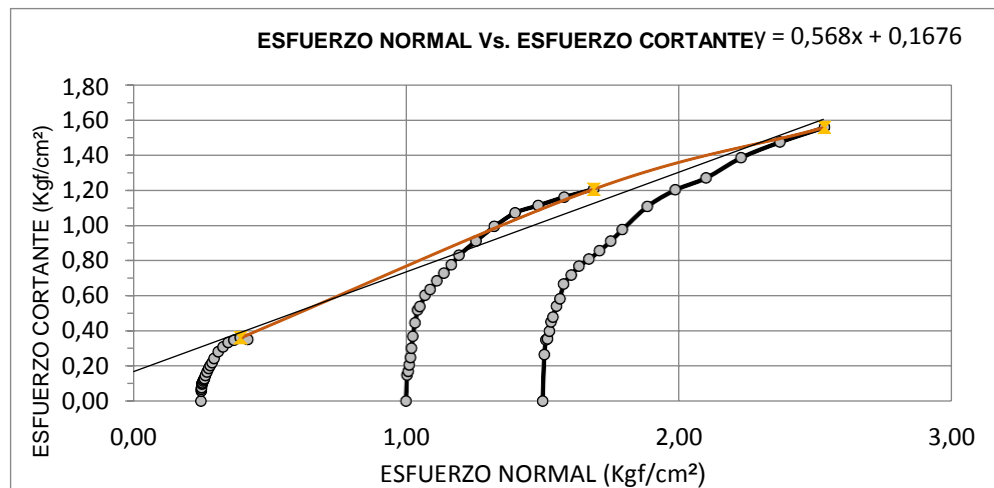


Ilustración 45. Esfuerzo normal vs deformación Lidita Short

Como resultado en cuanto a los valores calculados se puede ver el comportamiento del suelo recibiendo las diferentes cargas normales así también los valores efectivos del ángulo de fricción f' y de la cohesión, c' resultantes de la gráfica anteriormente relacionada.

C= 0.167 Kgf/cm²	$\Phi = 29.60^\circ$
------------------------------------	--

De acuerdo a los datos obtenidos en el ensayo realizado a las muestras del suelo Lidita Long y Lidita Short. Se puede establecer la relación en grafica del comportamiento en cada carga realizada, y los cambios en datos de cada muestra que como se analiza no alteran la similitud de los valores en resistencia y esfuerzo.

Si se compara los esfuerzos tanto normal como de corte que resultan de las dos muestras se observa que el suelo de Lidita Long tiene valores más elevados en cada carga normal aplicada que los esfuerzos resultantes de la otra muestra Lidita Short.

La deformación vertical que se genera en cada muestra, en respuesta de las fuerzas de corte que se leen en los ciclos, correspondientes a las cargas normales que se toman en cuenta para aplicarle a las dos muestras, es mayor en el suelo de la Lidita Short.

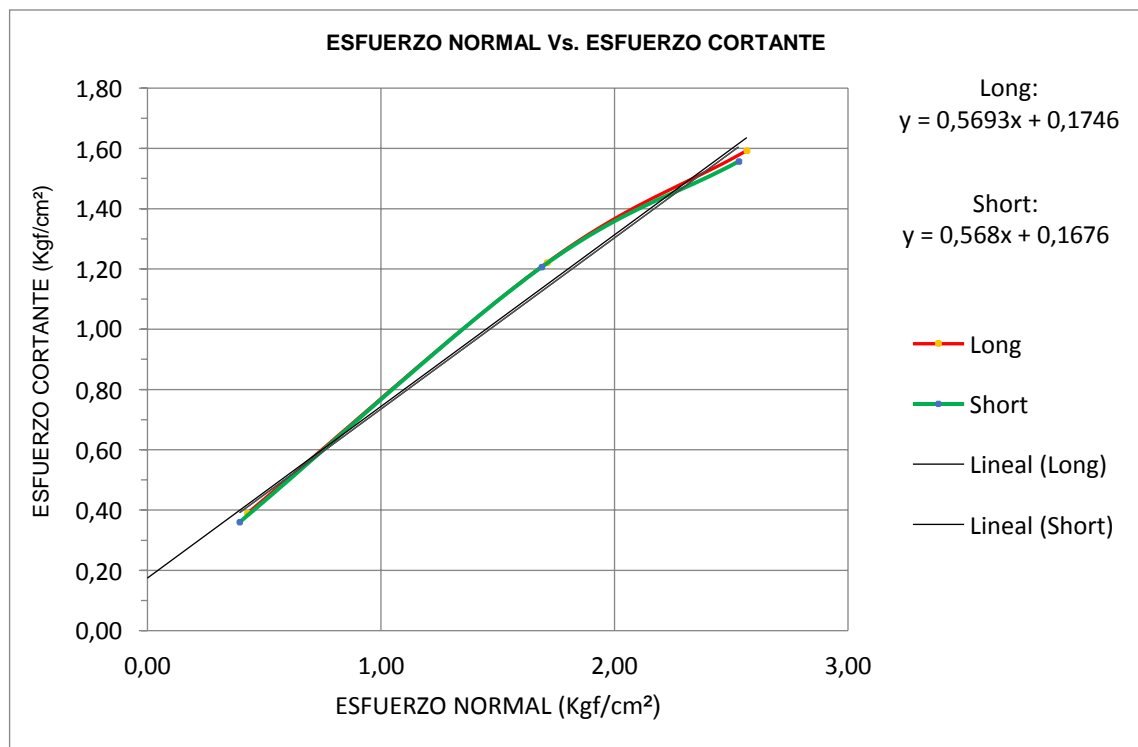


Ilustración 46. Esfuerzo normal vs Esfuerzo cortante resumen

4.6 CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS I.N.V. E – 151 -13

En la realización del ensayo de consolidación unidimensional se toma una muestra de suelo de Lidita Long en el anillo con el cual se va a trabajar, dejándola en el mismo volumen de este.

En el proceso de retiro de la muestra del anillo se toma precaución sin realizarle daño evitando golpearla para que no se produzcan vibraciones o torsiones que no permitan tenerla con el volumen que se acopla la estructura inicial.

Los datos que dan inicio y que se deben medir y tener en el ensayo son los siguientes:

- Compresibilidad Lidita Long

Tabla 48. Datos iniciales Consolidación Lidita Long

DIMENSIONES Y PESO	Unidad	INICIAL	FINAL
Diámetro	cm	5.55	5.55
Altura (cm)	cm	1.33	1.28
Peso del anillo +muestra	g	168.16	170.59
Peso del anillo	g	118.50	118.50
Peso de la muestra	g	49.66	52.09
Peso seco(gr)	g	38.30	38.50
Área	cm ²	24.19	24.19
Volumen	cm ³	32.18	31.02
Densidad total	g/cm ³	1.54	1.68
Densidad seca	g/cm ³	1.19	1.24

Se deben tomar los pesos antes de la preparación de la muestra, para que luego sea ensamblada en los anillos del consolidómetro junto con las piedras porosas y el papel de filtro, asegurándose que la muestra se expanda en exceso de su altura inicial antes de aplicar cargas mayores a su esfuerzo de pre-consolidación.

Tabla 49. Datos Celda de carga Lidita Long

CELDA DE CARGA	
Celda de carga no.	3
Peso piedra porosa (gr)	29.05
Peso del bloque de carga (gr)	822
Peso total	822
Relación de palanca (1/...)	10

Para información de laboratorio y conocimiento de las condiciones del ensayo se requiere tener conocimiento de los porcentajes de humedad de las muestras de Lidita, y valores de saturación.

Tabla 50. Humedad y saturación Lidita Long

HUMEDAD		INICIAL	FINAL
Recipiente	No,	247.00	163.00
Peso suelo húmedo	P1 (g)	121.02	57.63
Peso suelo seco	P2 (g)	96.06	46.23
Peso de la lata	P3 (g)	11.86	13.93
Contenido de Humedad	%	29.64	35.29
Saturación, s (%) : s=<100 %	s (%) : s=<100 %	64.08	82.40
Relación de vacíos, e	e	1.23	1.14
Altura de sólidos (cm)	(cm)	0.60	0.60

Las siguientes constantes de suelo se determinan en el procedimiento que se lleva a cabo con la elaboración del ensayo:

Tabla 51. Compresibilidad Lidita Long

PARÁMETROS DE COMPRESIBILIDAD		
Esfuerzo efectivo inicial (Ton/m ²)	v _o ' (ton/m ²)	1.400

Presión de preconsolid. (Ton/m ²)	v _o ' (ton/m ²)	2.000
Relación de sobreconsolidación	RSC :	1.429
Coeficiente de recompresión	Cr :	0.004
Coeficiente de compresión	Cc :	0.010
Índice de Expansión	Ce :	0.004

Teniendo el equipo con las muestras montadas se aplican las respectivas cargas de asentamiento las cuales inician en 1,0 kg generando un esfuerzo de 5kPa, luego de aplicar la carga se ajusta el deformímetro y se registra la deformación inicial entregada por las lecturas.

Este procedimiento se debe continuar aplicando incrementos de carga sobre las muestras del suelo LIDITAS y en los intervalos de tiempo definidos se registran las deformaciones que corresponden a estos tiempos.

Con los incrementos de cargas se generan presiones las cuales por recomendación tienen que estar en los valores siguientes:

0.0125 kg/cm², 0.0250 kg/cm², 0.050 kg/cm², 0.100 kg/cm², 0.200 kg/cm², 0.400 kg/cm², 0.800 kg/cm², 1.600 kg/cm², 3.200 kg/cm².

Tabla 52. Deformación unitaria Lidita Long

Carga	Lectura deformímetro	Esfuerzo vertical	Altura muestra	Relación de Vacíos	Def. Unitaria (%)
(kg)		(kg/cm ²)	(cm)	(e)	
0	0	0.034	1.330	1.226	0.000
1	0.03	0.447	1.327	1.221	0.226
2	0.0372	0.861	1.326	1.220	0.280
4	0.0478	1.687	1.325	1.218	0.359
8	0.0612	3.341	1.324	1.216	0.460
16	0.0782	6,648	1.322	1.213	0.588

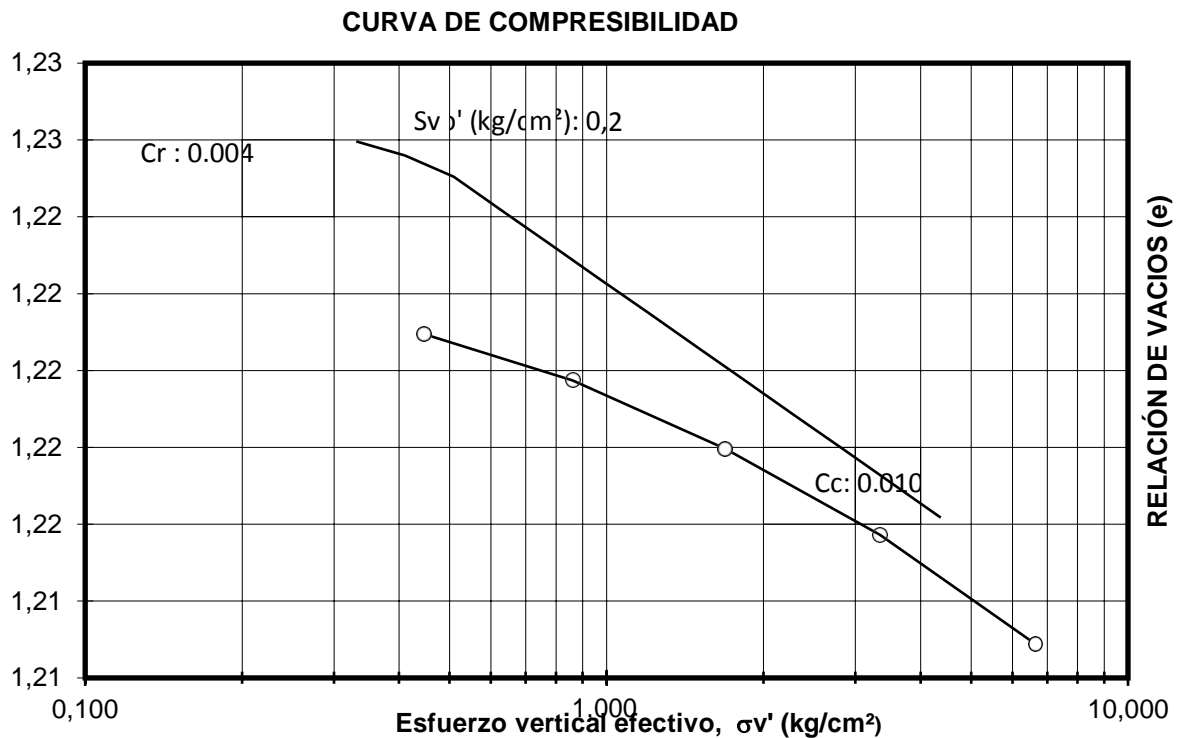


Ilustración 47. Curva de compresibilidad Lidita Long

El proceso del cargue de la muestra deberá continuarse dentro de la zona de la compresión virgen de manera que pueda apreciarse la forma de la curva en la parte correspondiente a éste. (I.N.V. E – 151).

Estas lecturas de tiempo-asentamiento sólo son requeridas para muestras saturadas. Las lecturas deberán continuarse por lo menos hasta que se haga patente la pendiente de la compresión lineal secundaria característica del asentamiento, contra el logaritmo del tiempo (I.N.V. E – 151)

Los valores obtenidos en las diferentes cargas realizadas a la muestra del suelo Lidita Long como son deformaciones, tiempos, y demás se muestran a continuación, haciendo individual los resultados de cada una de las cargas.

- Consolidación Carga 1 Kg Lidita Long

Tabla 53. Coeficiente de consolidación 1kg Lidita Long

Ho (cm)	1.306	Cv (cm ² /min)	0.0900
H100 (cm)	1.300	Cv (m ² /dia)	0.0130
Hd (cm)	0.652	Ca	0.0006
T100 (min)	36.000	Mv (m ² /ton)	0.0003

Tabla 54. Lectura deformímetro carga 1kg Lidita Long

Tiempo	Lectura deformímetro	Altura muestra	Raíz (tiempo)	Tiempo
Horario		(cm)	(min)	(min)
0:00:00	0.0000	1.330	0.00	0.000
0:00:06	0.0250	1.305	0.32	0.100
0:00:15	0.0257	1.304	0.50	0.250
0:00:30	0.0265	1.304	0.71	0.500
0:01:00	0.0280	1.302	1.00	1.000
0:01:34	0.0284	1.302	1.25	1.567
0:02:15	0.0288	1.301	1.50	2.250
0:03:04	0.0290	1.301	1.75	3.067
0:04:00	0.0292	1.301	2.00	4.000
0:06:15	0.0295	1.301	2.50	6.250
0:09:00	0.0296	1.300	3.00	9.000
0:12:15	0.0297	1.300	3.50	12.250
0:16:00	0.0298	1.300	4.00	16.000
0:25:00	0.0299	1.300	5.00	25.000
0:36:00	0.0300	1.300	6.00	36.000
0:49:00	0.0300	1.300	7.00	49.000
1:04:00	0.0300	1.300	8.00	64.000
1:26:00	0.0300	1.300	9.27	86.000
1:40:00	0.0300	1.300	10.00	100.000

A partir de los incrementos de carga para los cuales se obtienen las lecturas del tiempo, se realizan las gráficas que llevan valores en cuanto a la deformación contra el logaritmo del tiempo (en minutos) y contra la raíz cuadrada del tiempo, (en minutos), por cada incremento de carga a medida que progresa el ensayo, y para

los decrementos del rebote. De esta manera se es claro el comportamiento de la muestra durante los intervalos de aplicación de la carga.



Ilustración 48. Gráfica de Taylor 1 kg Lidita Long

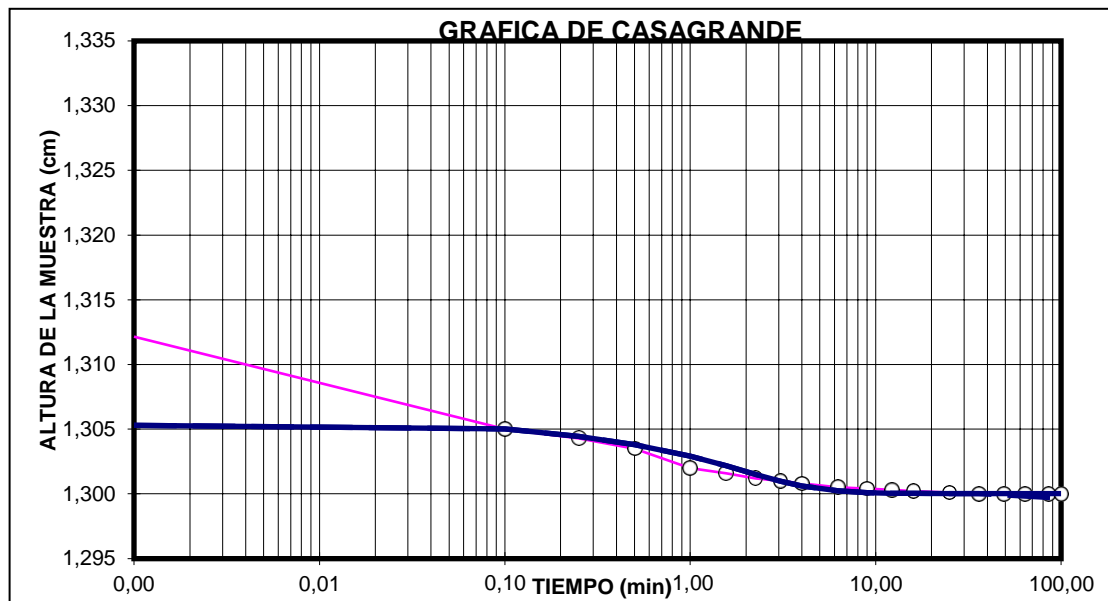


Ilustración 49. Gráfica de Casagrande 1kg Lidita Long

- CONSOLIDACIÓN CARGA 2 Kg LIDITA LONG

Tabla 55. Coeficiente de consolidación 2kg Lidita Long

Ho (cm)	1.295	Cv (cm ² /min)	0.0300
H100 (cm)	1.293	Cv (m ² /dia)	0.0043
Hd (cm)	0.647	Ca	0.0005
T100 (min)	36.000	Mv (m ² /ton)	0.0002

Tabla 56. Lectura deformímetro carga 2kg Lidita Long

Tiempo	Lectura deformímetro	Altura muestra	Raíz (tiempo)	Tiempo
Horario		(cm)	(min)	(min)
0:00:00	0.0300	1.300	0.00	0.000
0:00:06	0.0332	1.297	0.32	0.100
0:00:15	0.0341	1.296	0.50	0.250
0:00:30	0.0346	1.295	0.71	0.500
0:01:00	0.0351	1.295	1.00	1.000
0:01:34	0.0354	1.295	1.25	1.567
0:02:15	0.0357	1.294	1.50	2.250
0:03:04	0.0359	1.294	1.75	3.067
0:04:00	0.0360	1.294	2.00	4.000
0:06:15	0.0362	1.294	2.50	6.250
0:09:00	0.0364	1.294	3.00	9.000
0:12:15	0.0365	1.294	3.50	12.250
0:16:00	0.0366	1.293	4.00	16.000
0:25:00	0.0367	1.293	5.00	25.000
0:36:00	0.0368	1.293	6.00	36.000
0:49:00	0.0369	1.293	7.00	49.000
1:04:00	0.0369	1.293	8.00	64.000
1:26:00	0.0370	1.293	9.27	86.000
1:40:00	0.0371	1.293	10.00	100.000
			T100	36

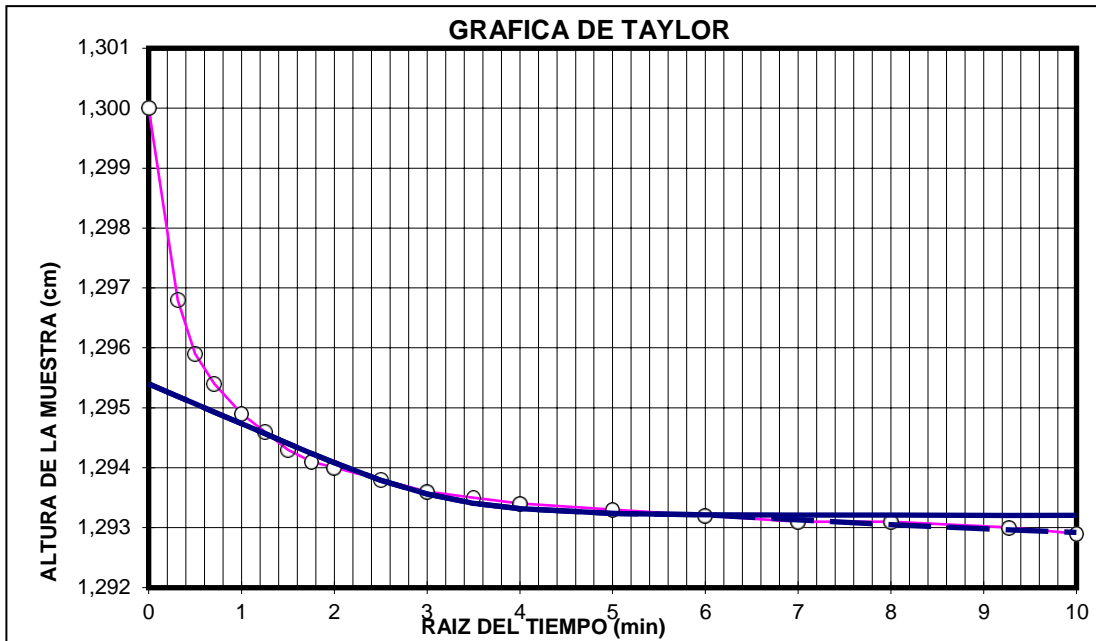


Ilustración 50. Gráfica de Taylor 2 kg Lidita Long

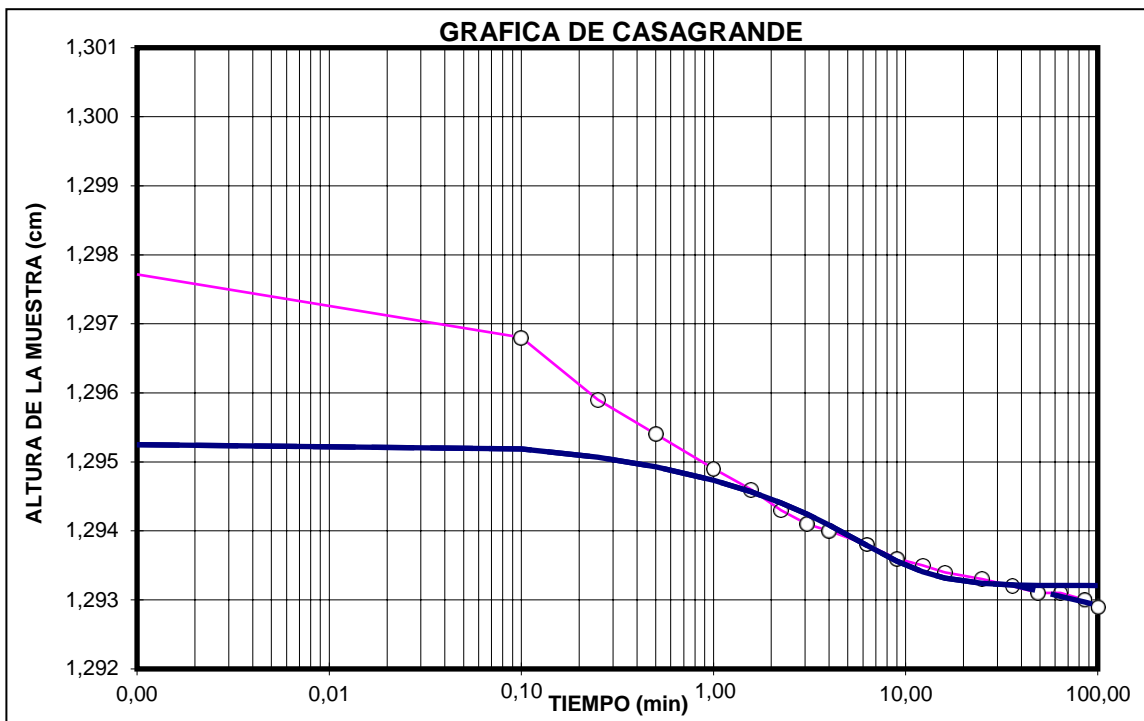


Ilustración 51. Gráfica de Casagrande 2kg Lidita Long

- CONSOLIDACIÓN CARGA 4 Kg LIDITA LONG

Tabla 57. Coeficiente de consolidación 4kg Lidita Long

Ho (cm)	1.285	Cv (cm ² /min)	0.0300
H100 (cm)	1.282	Cv (m ² /dia)	0.0043
Hd (cm)	0.642	Ca	0.0004
T100 (min)	36.000	Mv (m ² /ton)	0.0001

Tabla 58. Lectura deformímetro carga 4kg Lidita Long

Tiempo	Lectura deform	Altura muestra	Raíz (tiempo)	Tiempo
Horario		(cm)	(raíz min)	(min)
0:00:00	0.0372	1.293	0.00	0.000
0:00:06	0.0425	1.288	0.32	0.100
0:00:15	0.0441	1.286	0.50	0.250
0:00:30	0.0449	1.285	0.71	0.500
0:01:00	0.0459	1.284	1.00	1.000
0:01:34	0.0461	1.284	1.25	1.567
0:02:15	0.0463	1.284	1.50	2.250
0:03:04	0.0466	1.283	1.75	3.067
0:04:00	0.0469	1.283	2.00	4.000
0:06:15	0.0471	1.283	2.50	6.250
0:09:00	0.0472	1.283	3.00	9.000
0:12:15	0.0473	1.283	3.50	12.250
0:16:00	0.0474	1.283	4.00	16.000
0:25:00	0.0475	1.283	5.00	25.000
0:36:00	0.0476	1.282	6.00	36.000
0:49:00	0.0477	1.282	7.00	49.000
1:04:00	0.0477	1.282	8.00	64.000
1:26:00	0.0477	1.282	9.27	86.000
1:40:00	0.0478	1.282	10.00	100.000
			T100	36

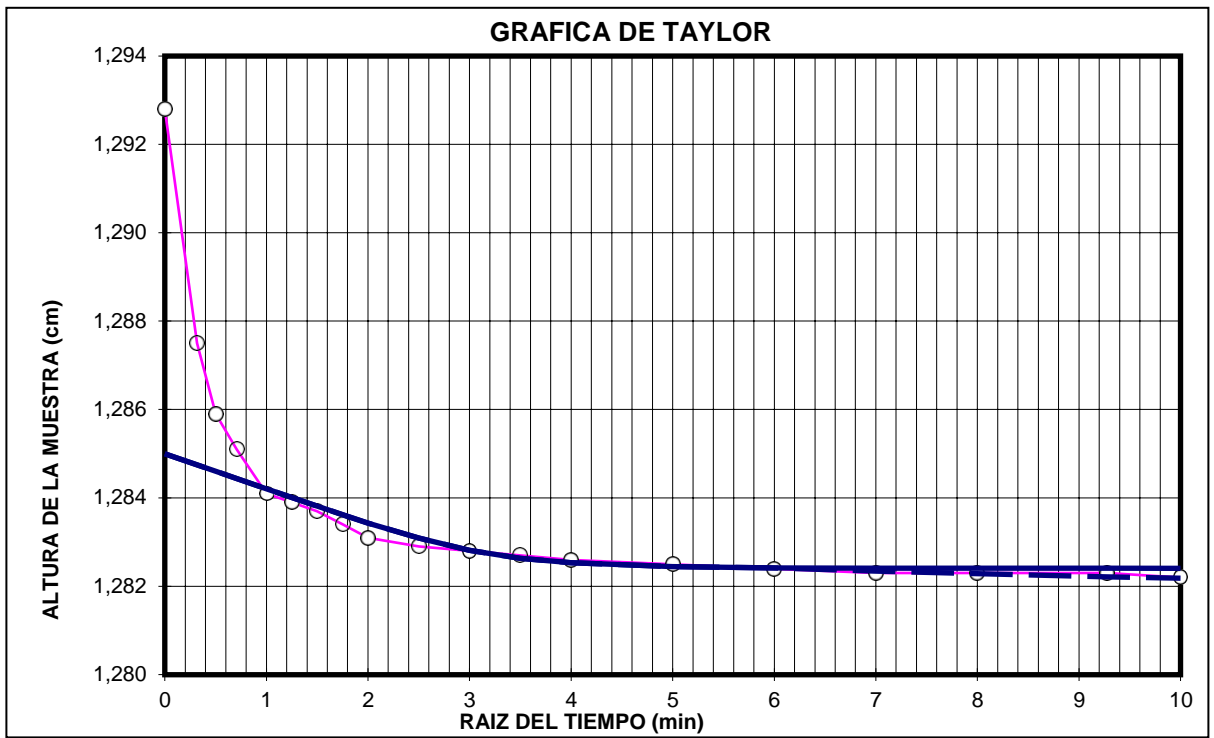


Ilustración 52. Gráfica de Taylor 4 kg Lidita Long

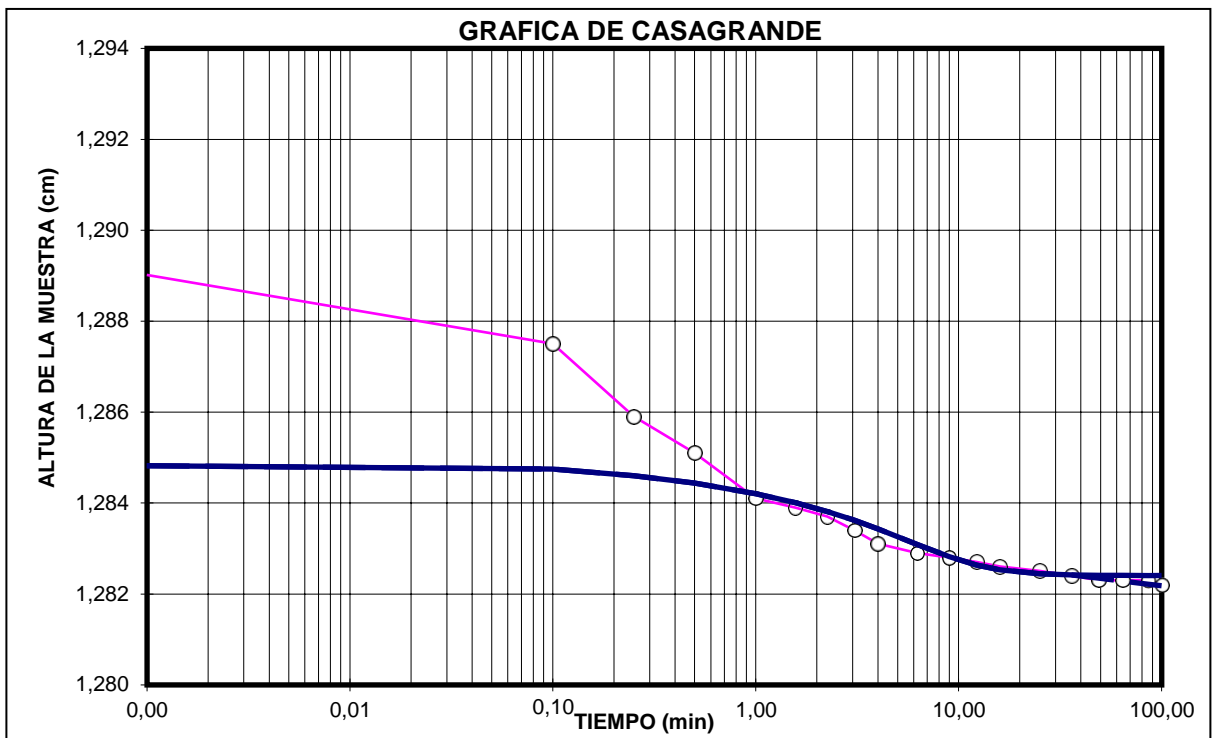


Ilustración 53. Gráfica de Casagrande 4kg Lidita Long

- CONSOLIDACIÓN CARGA 8 Kg LIDITA LONG

Tabla 59. Coeficiente de consolidación 8kg Lidita Long

Ho (cm)	1.271	Cv (cm ² /min)	0.0200
H100 (cm)	1.269	Cv (m ² /dia)	0.0029
Hd (cm)	0.635	Ca	0.0005
T100 (min)	49.000	Mv (m ² /ton)	0.0001

Tabla 60. Lectura deformímetro carga 8kg Lidita Long

Tiempo	Lectura deform	Altura muestra	Raíz (tiempo)	Tiempo
Horario		(cm)	(raíz min)	(min)
0:00:00	0.0478	1.282	0.00	0.000
0:00:06	0.0557	1.274	0.32	0.100
0:00:15	0.0571	1.273	0.50	0.250
0:00:30	0.0580	1.272	0.71	0.500
0:01:00	0.0590	1.271	1.00	1.000
0:01:34	0.0594	1.271	1.25	1.567
0:02:15	0.0598	1.270	1.50	2.250
0:03:04	0.0601	1.270	1.75	3.067
0:04:00	0.0602	1.270	2.00	4.000
0:06:15	0.0604	1.270	2.50	6.250
0:09:00	0.0605	1.270	3.00	9.000
0:12:15	0.0606	1.269	3.50	12.250
0:16:00	0.0607	1.269	4.00	16.000
0:25:00	0.0608	1.269	5.00	25.000
0:36:00	0.0609	1.269	6.00	36.000
0:49:00	0.0610	1.269	7.00	49.000
1:04:00	0.0610	1.269	8.00	64.000
1:26:00	0.0611	1.269	9.27	86.000
1:40:00	0.0611	1.269	10.00	100.000
			T100	49

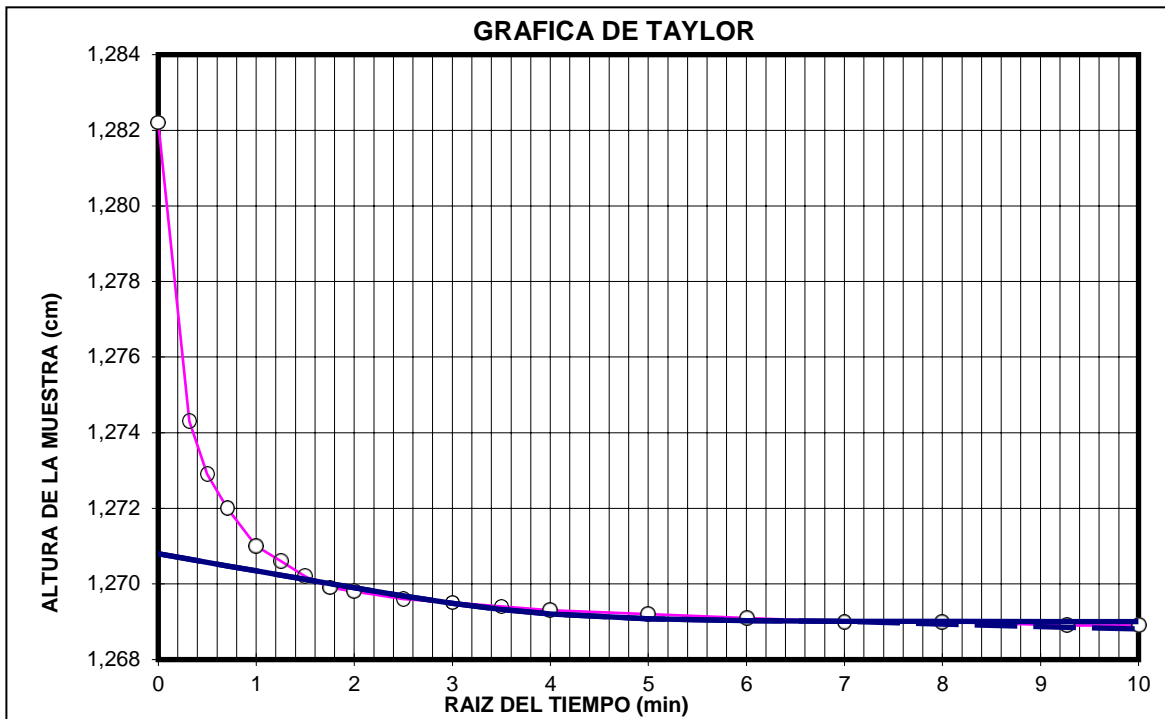


Ilustración 54. Gráfica de Taylor 8 kg Lidita Long

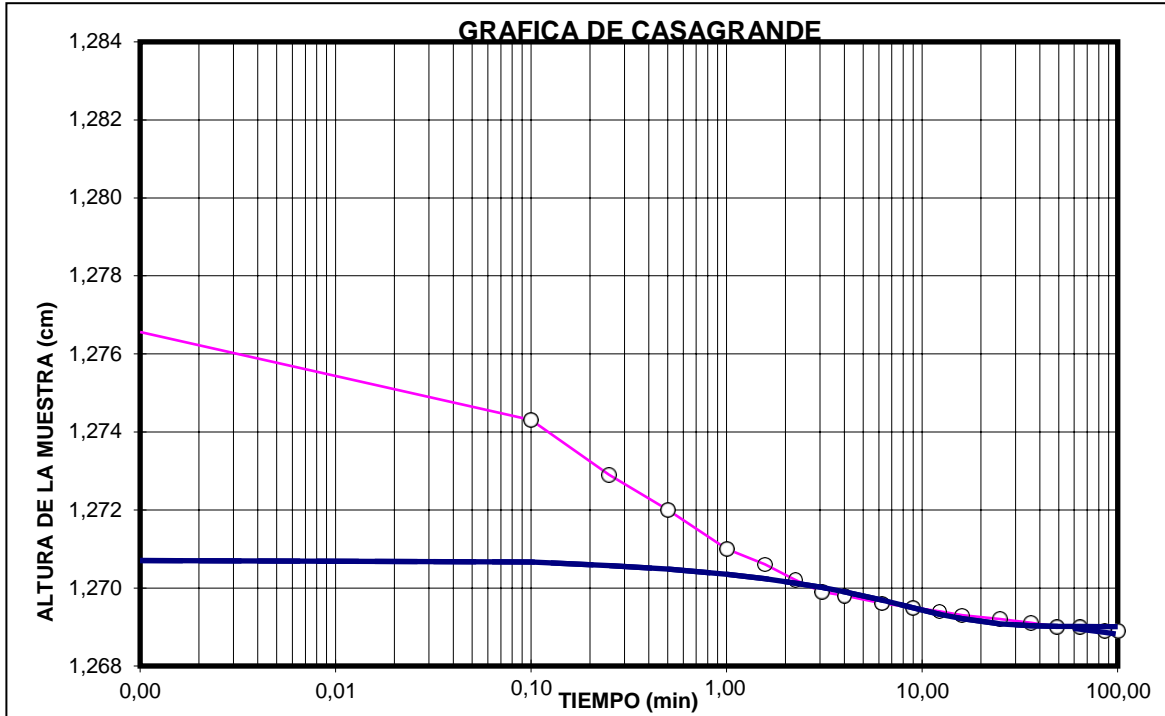


Ilustración 55. Gráfica de Casagrande 8kg Lidita Long

- Consolidación Carga 16 Kg Lidita Long

Tabla 61. Coeficiente de consolidación 16kg Lidita Long

Ho (cm)	1.254	Cv (cm ² /min)	0.0150
H100 (cm)	1.252	Cv (m ² /dia)	0.0022
Hd (cm)	0.626	Ca	0.0004
T100 (min)	49.000	Mv (m ² /ton)	0.0001
		k (m/dia)	0.0000

Tabla 62. Lectura deformímetro carga 16kg Lidita Long

Tiempo	Lectura deform	Altura muestra	Raíz (tiempo)	Tiempo
Horario		(cm)	(raíz min)	(min)
0:00:00	0.0612	1.269	0.00	0.000
0:00:06	0.0705	1.260	0.32	0.100
0:00:15	0.0726	1.257	0.50	0.250
0:00:30	0.0741	1.256	0.71	0.500
0:01:00	0.0753	1.255	1.00	1.000
0:01:34	0.0759	1.254	1.25	1.567
0:02:15	0.0765	1.254	1.50	2.250
0:03:04	0.0767	1.253	1.75	3.067
0:04:00	0.0769	1.253	2.00	4.000
0:06:15	0.0771	1.253	2.50	6.250
0:09:00	0.0773	1.253	3.00	9.000
0:12:15	0.0775	1.253	3.50	12.250
0:16:00	0.0776	1.252	4.00	16.000
0:25:00	0.0777	1.252	5.00	25.000
0:36:00	0.0778	1.252	6.00	36.000
0:49:00	0.0779	1.252	7.00	49.000
1:04:00	0.0779	1.252	8.00	64.000
1:26:00	0.0780	1.252	9.27	86.000
1:40:00	0.0780	1.252	10.00	100.000
			T100	49

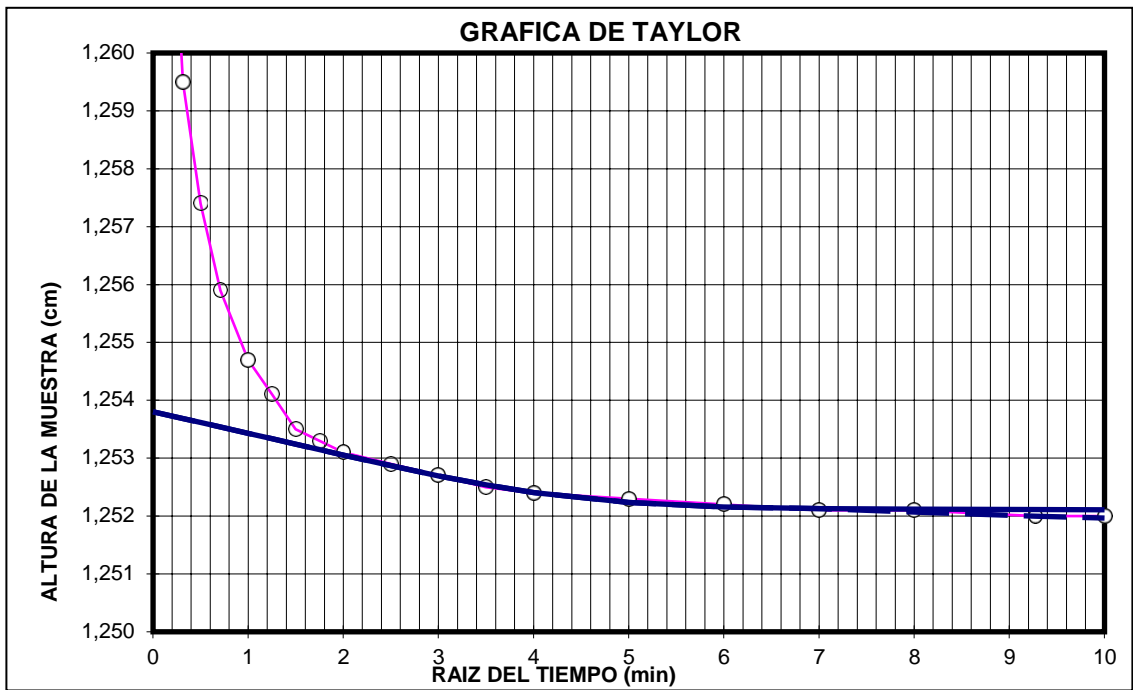


Ilustración 56. Gráfica de Taylor 16 kg Lidita Long

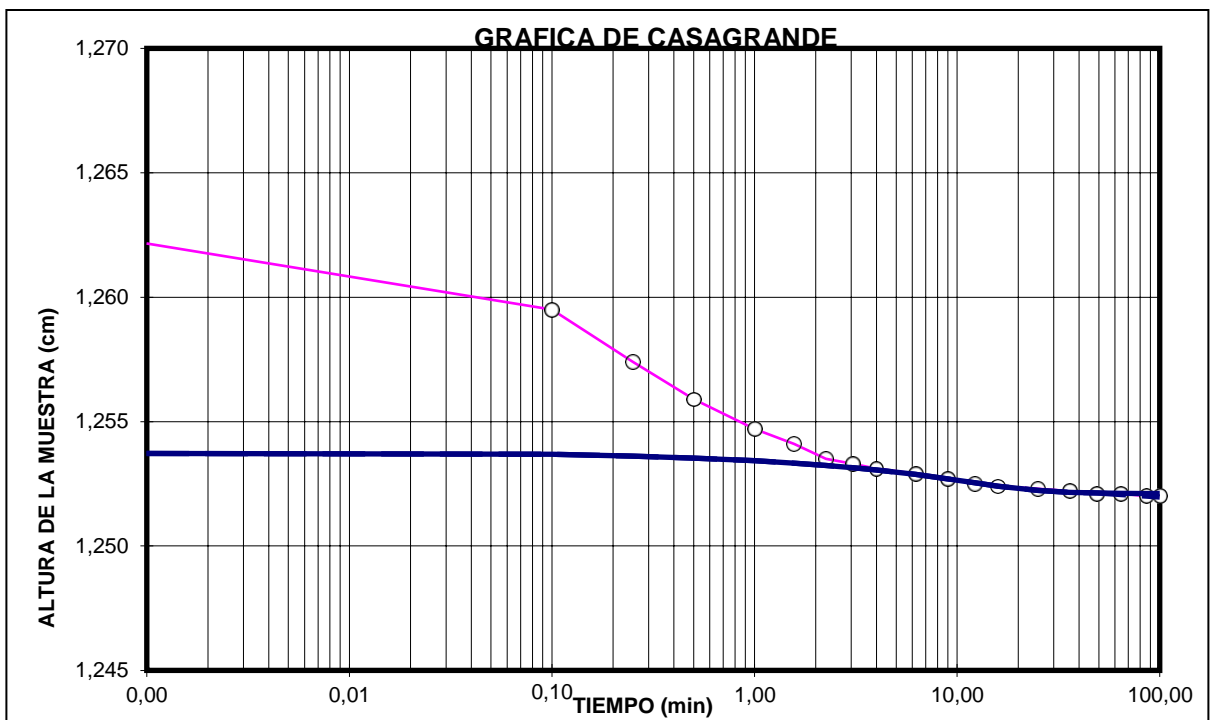


Ilustración 57. Gráfica de Casagrande 16kg Lidita Long

El ensayo de consolidación unidimensional realizado para el tipo de muestra de suelo Lidita Long, se realiza para una segunda muestra conocida como Lidita Short y los resultados obtenidos se relacionan a continuación incluyendo las tablas y graficas necesarias para establecer la relación entre las dos muestras.

- COMPRESIBILIDAD LIDITA SHORT

Tabla 63. Datos iniciales Consolidación Lidita Short

Dimensiones y peso	unidad	Inicial	Final
Diámetro	cm	5,550	5,550
Altura (cm)	cm	1,330	1,282
Peso del anillo +muestra	g	169,700	170,590
Peso del anillo	g	118,500	118,500
Peso de la muestra	g	51,20	52,09
Peso seco(gr)	g	37,20	38,17
Área	cm ²	24,19	24,19
Volumen	cm ³	32,18	31,02
Densidad total	g/cm ³	1,59	1,68
Densidad seca	g/cm ³	1,16	1,23

Tabla 64. Datos Celda de carga Lidita Short

Celda De Carga	
Celda de carga no.	3
Peso piedra porosa (gr)	29,05
Peso del bloque de carga (gr)	822
Peso total	822
Relación de palanca (1/...)	10

Tabla 65. Humedad y saturación Lidita Short

Humedad		Inicial	Final
Recipiente	No,	345	342

Peso suelo húmedo	P1 (g)	120,45	58,98
Peso suelo seco	P2 (g)	92,12	46,87
Peso de la lata	P3 (g)	16,87	13,67
Contenido de Humedad	%	37,65	36,48
Saturación, s (%) : s=<100 %	s (%) : s=<100 %	77,20	84
Relación de vacíos, e	e	1,292	1,154
Altura de sólidos (cm)	(cm)	0,580	0,595

Las siguientes constantes de suelo se determinan en el procedimiento que se lleva a cabo con la elaboración del ensayo:

Tabla 66. Compresibilidad Lidita Short

Parámetros De Compresibilidad		
Esfuerzo efectivo inicial (Ton/m ²)	svo' (ton/m ²)	1,40
Presión de preconsolid. (Ton/m ²)	svo' (ton/m ²)	2,00
Relación de sobreconsolidación	RSC :	1,43
Coefficiente de recompresión	Cr :	0,004
Coefficiente de compresión	Cc :	0,010
Índice de Expansión	Ce :	0,004

Con los incrementos de cargas se generan presiones las cuales por recomendación tienen que estar en los valores siguientes:

0.0125 kg/cm², 0.0250 kg/cm², 0.050 kg/cm², 0.100 kg/cm², 0.200 kg/cm², 0.400 kg/cm², 0.800 kg/cm², 1.600 kg/cm², 3.200 kg/cm².

Tabla 67. Deformación unitaria Lidita Short

Carga	Lectura deformímetro	Esfuerzo vertical	Altura muestra	Relación de vacíos	Def. Unitaria (%)
(kg)		(kg/cm ²)	(cm)	(e)	
0	0	0,034	1,330	1,292	0,00

1	0,032	0,447	1,327	1,287	0,24
2	0,0369	0,861	1,326	1,286	0,28
4	0,0479	1,687	1,325	1,284	0,36
8	0,0614	3,341	1,324	1,282	0,46
16	0,0782	6,648	1,322	1,279	0,59

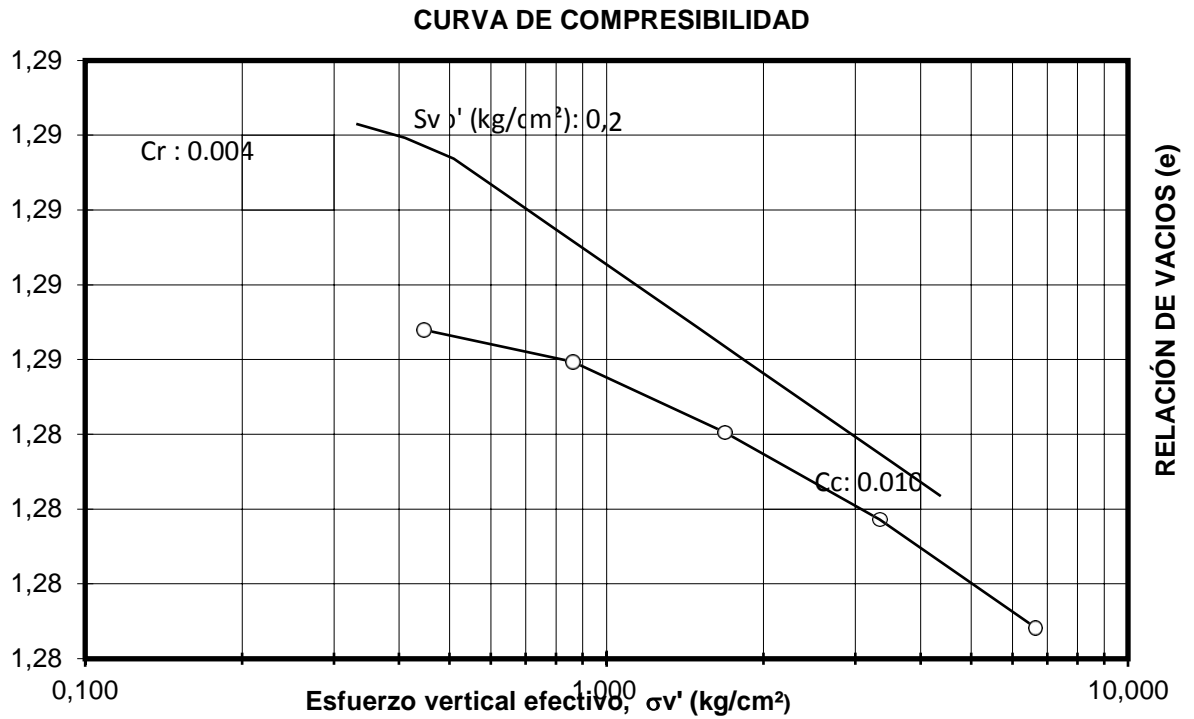


Ilustración 58. Curva de compresibilidad Lidita Short

- Consolidación Carga 1 Kg Lidita Short

Tabla 68. Coeficiente de consolidación 1kg Lidita Short

Ho (cm)	1.306	Cv (cm ² /min)	0.0900
H100 (cm)	1.300	Cv (m ² /dia)	0.0130
Hd (cm)	0.652	Ca	0.0006
T100 (min)	36.000	Mv (m ² /ton)	0.0002
		k (m/dia)	0.0000

Tabla 69. Lectura deformímetro carga 1kg Lidita Short

Tiempo	Lectura deformímetro	Altura muestra (cm)	Raíz (tiempo) (raíz min)	Tiempo (min)
0:00:00	0.0000	1.3300	0.0001	0.0000
0:00:06	0.0251	1.3049	0.3162	0.1000
0:00:15	0.0255	1.3045	0.5000	0.2500
0:00:30	0.0261	1.3039	0.7071	0.5000
0:01:00	0.0276	1.3024	1.0000	1.0000
0:01:34	0.0282	1.3018	1.2517	1.5667
0:02:15	0.0287	1.3013	1.5000	2.2500
0:03:04	0.0289	1.3011	1.7512	3.0667
0:04:00	0.0291	1.3009	2.0000	4.0000
0:06:15	0.0293	1.3007	2.5000	6.2500
0:09:00	0.0295	1.3005	3.0000	9.0000
0:12:15	0.0297	1.3003	3.5000	12.2500
0:16:00	0.0298	1.3002	4.0000	16.0000
0:25:00	0.0299	1.3001	5.0000	25.0000
0:36:00	0.0300	1.3000	6.0000	36.0000
0:49:00	0.0310	1.2990	7.0000	49.0000
1:04:00	0.0310	1.2990	8.0000	64.0000
1:26:00	0.0320	1.2980	9.2736	86.0000
1:40:00	0.0320	1.2980	10.0000	100.0000
			T100	36

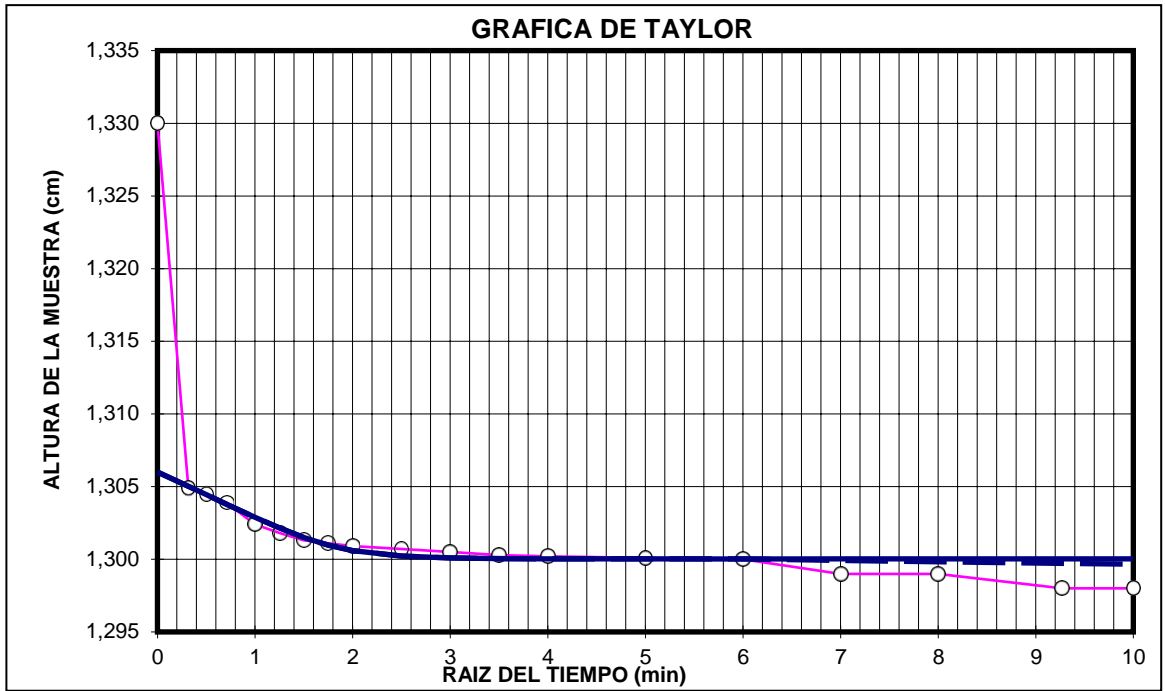


Ilustración 59. Gráfica de Taylor 1kg Lidita Short

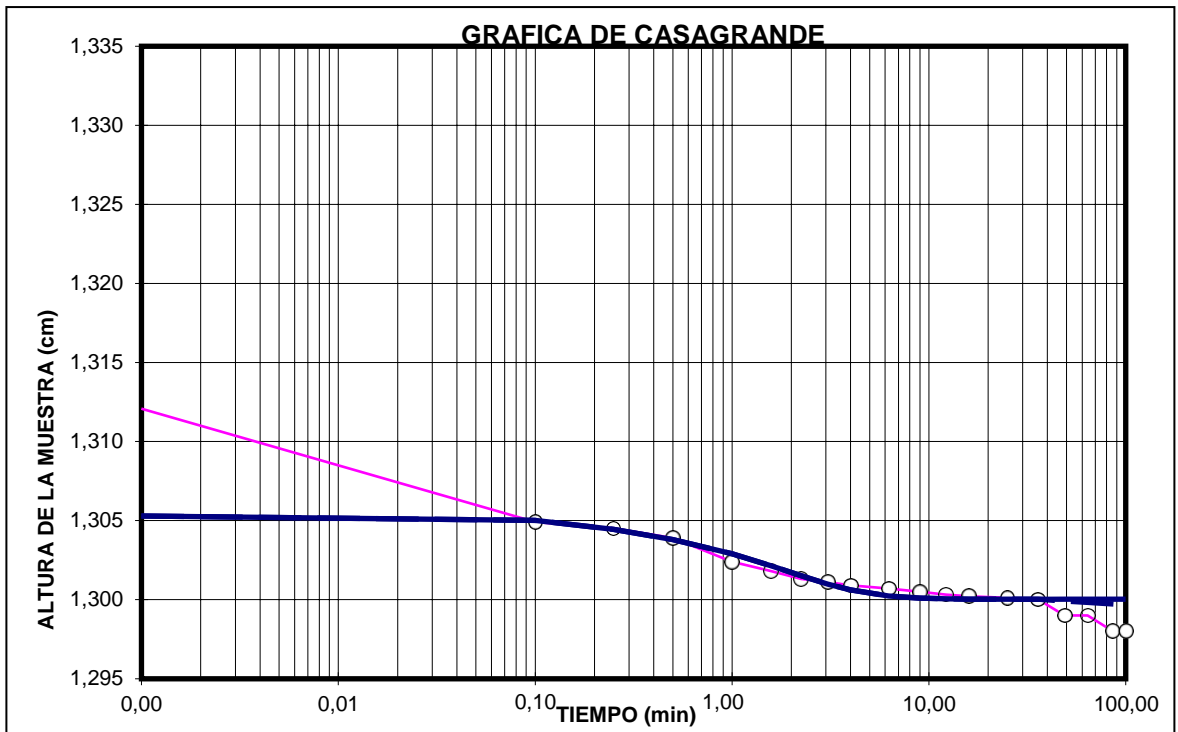


Ilustración 60. Gráfica de Casagrande 1kg Lidita Short

- Consolidación carga 2 Kg Lidita Short

Tabla 70. Coeficiente de consolidación 2kg Lidita Short

Ho (cm)	1.295	Cv (cm ² /min)	0.0300
H100 (cm)	1.293	Cv (m ² /día)	0.0043
Hd (cm)	0.647	Ca	0.0005
T100 (min)	49.000	Mv (m ² /ton)	0.0002
		k (m/día)	0.0000

Tabla 71. Lectura deformímetro carga 2kg Lidita Short

Tiempo	Lectura deform	Altura muestra	Raíz (tiempo)	Tiempo
Horario		(cm)	(raíz min)	(min)
0:00:00	0.0320	1.2980	0.0001	0.0000
0:00:06	0.0342	1.2958	0.3162	0.1000
0:00:15	0.0348	1.2952	0.5000	0.2500
0:00:30	0.0352	1.2948	0.7071	0.5000
0:01:00	0.0354	1.2946	1.0000	1.0000
0:01:34	0.0355	1.2945	1.2517	1.5667
0:02:15	0.0357	1.2943	1.5000	2.2500
0:03:04	0.0359	1.2941	1.7512	3.0667
0:04:00	0.0359	1.2941	2.0000	4.0000
0:06:15	0.0362	1.2938	2.5000	6.2500
0:09:00	0.0363	1.2937	3.0000	9.0000
0:12:15	0.0364	1.2936	3.5000	12.2500
0:16:00	0.0365	1.2935	4.0000	16.0000
0:25:00	0.0366	1.2934	5.0000	25.0000
0:36:00	0.0367	1.2933	6.0000	36.0000
0:49:00	0.0368	1.2932	7.0000	49.0000
1:04:00	0.0369	1.2931	8.0000	64.0000
1:26:00	0.0369	1.2931	9.2736	86.0000
1:40:00	0.0369	1.2931	10.0000	100.0000
3:00:00	0.0369	1.2931	13.41640786	180
			T100	49

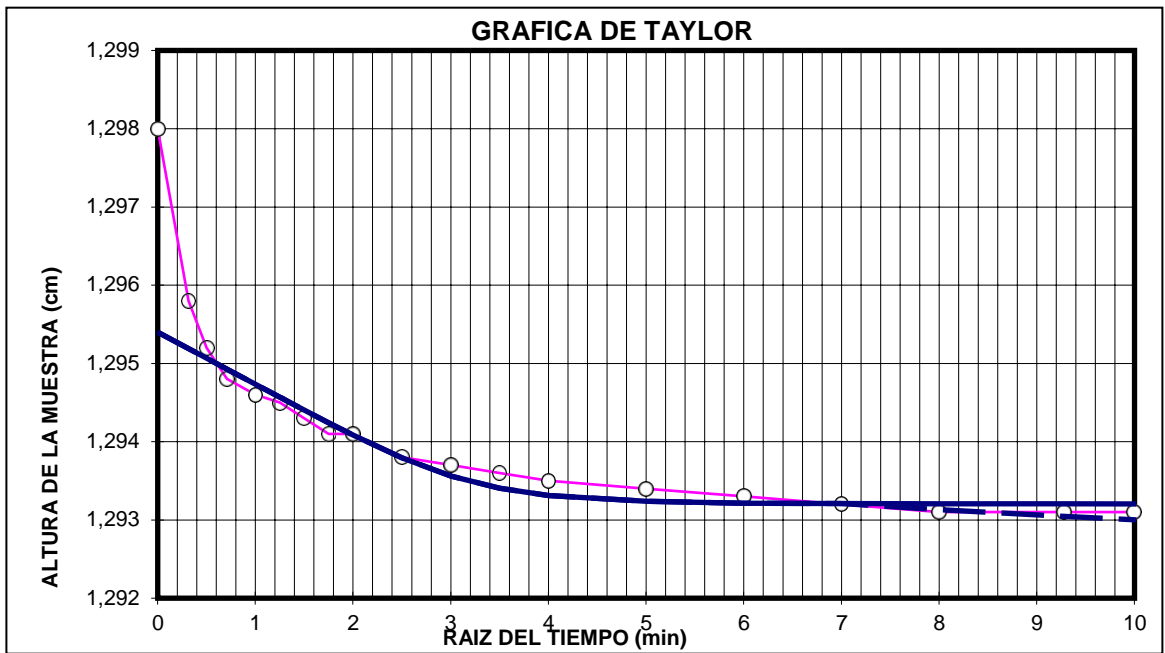


Ilustración 61. Gráfica de Taylor 2 kg Lidita Short

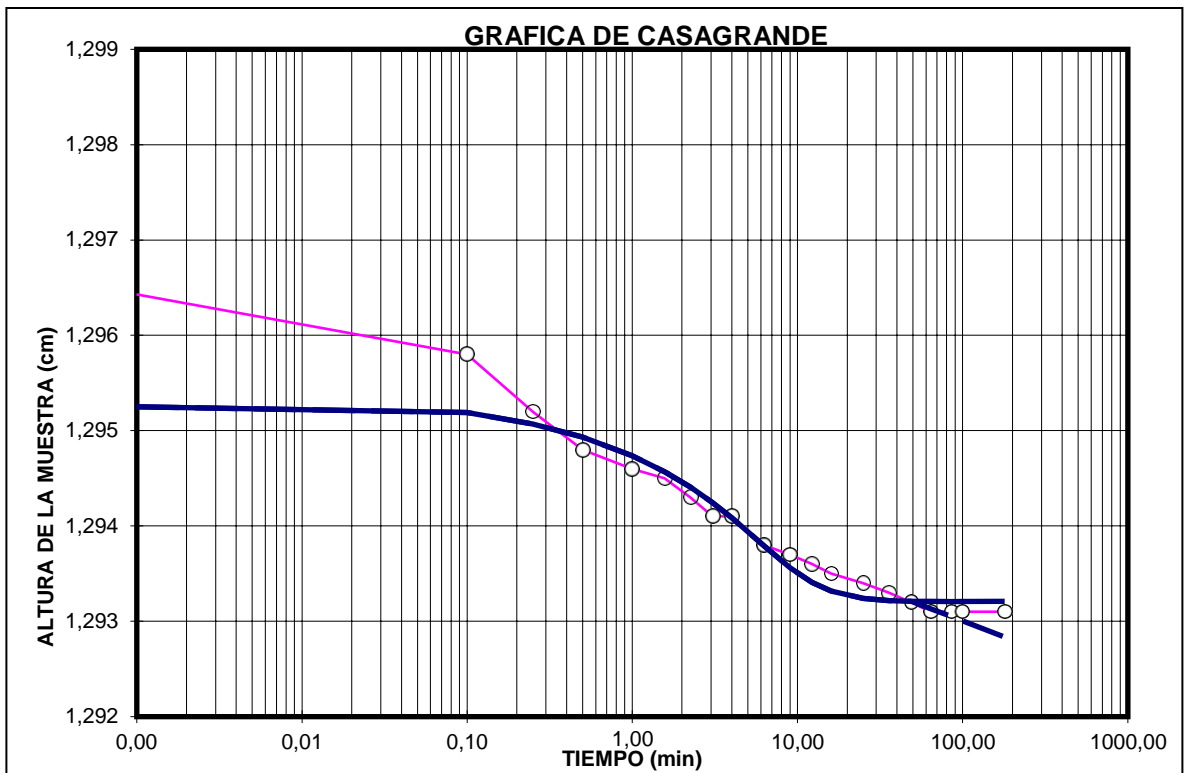


Ilustración 62. Gráfica de Casagrande 2kg Lidita Short

- Consolidación Carga 4 Kg Lidita Short

Tabla 72. Coeficiente de consolidación 4kg Lidita Short

Ho (cm)	1.285	Cv (cm ² /min)	0.0300
H100 (cm)	1.282	Cv (m ² /dia)	0.0043
Hd (cm)	0.642	Ca	0.0004
T100 (min)	36.000	Mv (m ² /ton)	0.0001
		k (m/dia)	0.0000

Tabla 73. Lectura deformímetro carga 4kg Lidita Short

Tiempo	Lectura deformímetro	Altura muestra	Raíz (tiempo)	Tiempo
Horario		(cm)	(raíz min)	(min)
0:00:00	0.0369	1.2931	0.0001	0.0000
0:00:06	0.0420	1.2880	0.3162	0.1000
0:00:15	0.0435	1.2865	0.5000	0.2500
0:00:30	0.0442	1.2858	0.7071	0.5000
0:01:00	0.0448	1.2852	1.0000	1.0000
0:01:34	0.0453	1.2847	1.2517	1.5667
0:02:15	0.0459	1.2841	1.5000	2.2500
0:03:04	0.0463	1.2837	1.7512	3.0667
0:04:00	0.0465	1.2835	2.0000	4.0000
0:06:15	0.0466	1.2834	2.5000	6.2500
0:09:00	0.0467	1.2833	3.0000	9.0000
0:12:15	0.0469	1.2831	3.5000	12.2500
0:16:00	0.0473	1.2827	4.0000	16.0000
0:25:00	0.0475	1.2825	5.0000	25.0000
0:36:00	0.0476	1.2824	6.0000	36.0000
0:49:00	0.0477	1.2823	7.0000	49.0000
1:04:00	0.0478	1.2822	8.0000	64.0000
1:26:00	0.0479	1.2821	9.2736	86.0000
1:40:00	0.0479	1.2821	10.0000	100.0000
3:00:00	0.0479	1.2821	13.4164	180.0000
			T100	36

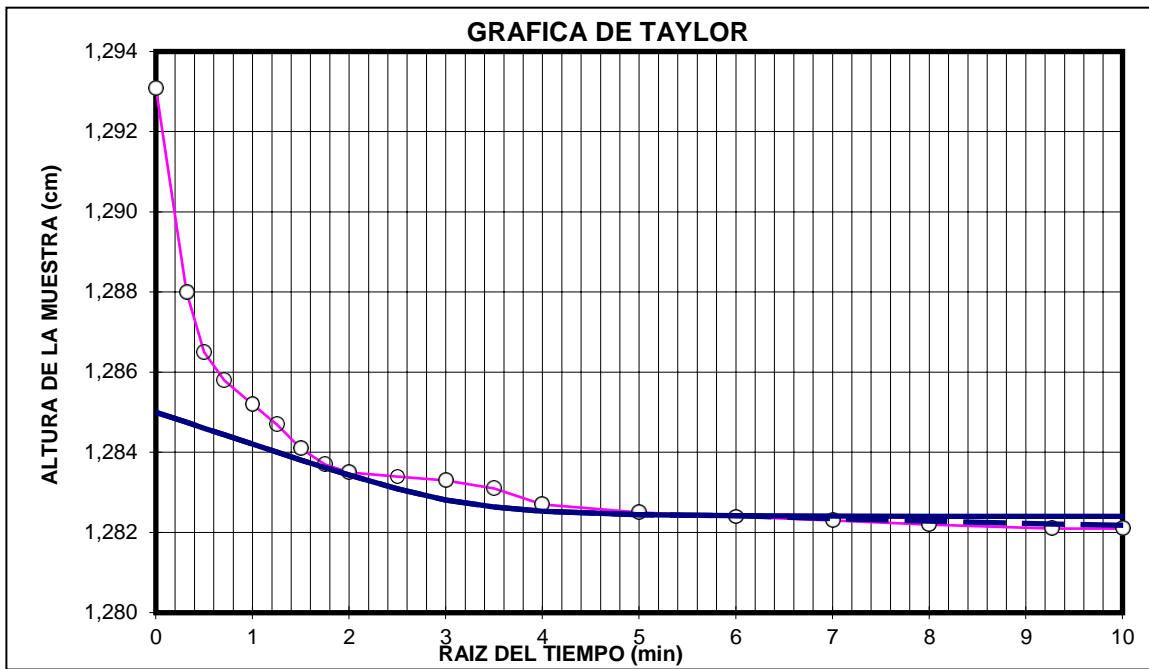


Ilustración 63. Gráfica de Taylor 4 kg Lidita Short

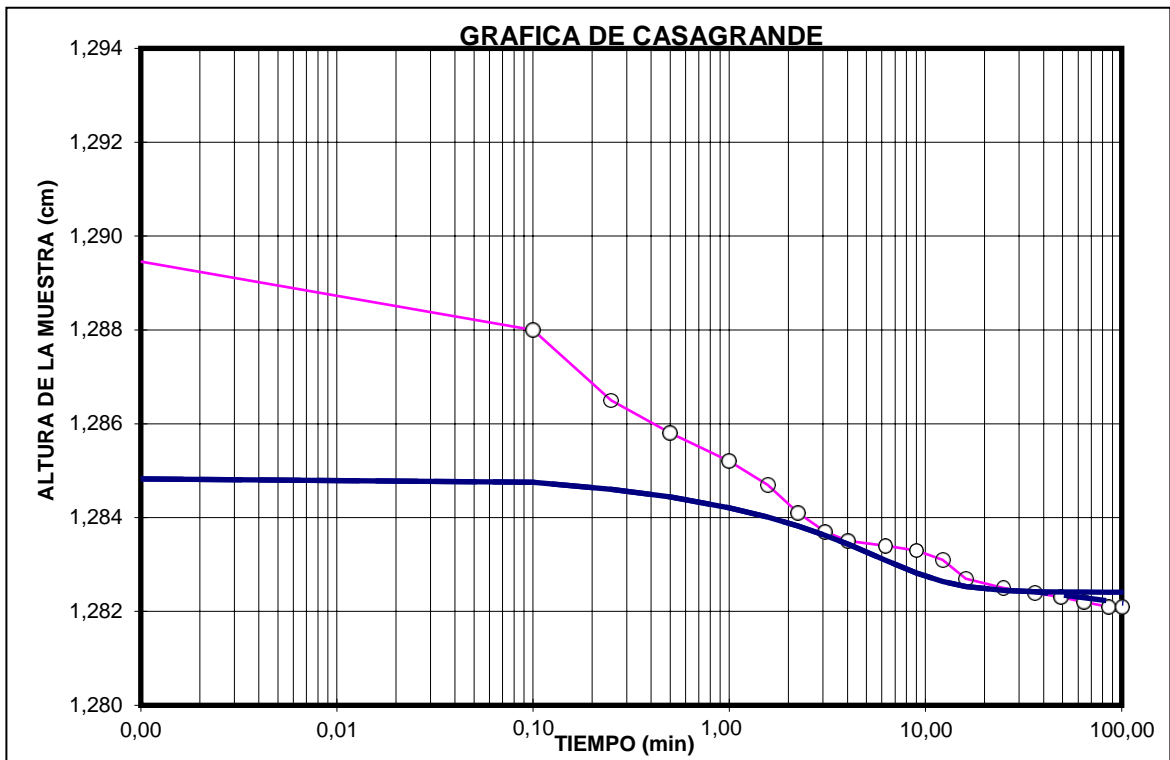


Ilustración 64. Gráfica de Casagrande 4kg Lidita Short

- Consolidación Carga 8 Kg Lidita Short

Tabla 74. Coeficiente de consolidación 8kg Lidita Short

Ho (cm)	1.271	Cv (cm ² /min)	0.0200
H100 (cm)	1.269	Cv (m ² /dia)	0.0029
Hd (cm)	0.635	Ca	0.0005
T100 (min)	25.000	Mv (m ² /ton)	0.0001
		k (m/dia)	0.0000

Tabla 75. Lectura deformímetro carga 8kg Lidita Short

Tiempo Horario	Lectura deformímetro	Altura muestra (cm)	Raíz (tiempo) (raíz min)	Tiempo (min)
0:00:00	0.0479	1.2821	0.0001	0.0000
0:00:06	0.0543	1.2757	0.3162	0.1000
0:00:15	0.0552	1.2748	0.5000	0.2500
0:00:30	0.0564	1.2736	0.7071	0.5000
0:01:00	0.0574	1.2726	1.0000	1.0000
0:01:34	0.0582	1.2718	1.2517	1.5667
0:02:15	0.0589	1.2711	1.5000	2.2500
0:03:04	0.0596	1.2704	1.7512	3.0667
0:04:00	0.0601	1.2699	2.0000	4.0000
0:06:15	0.0605	1.2695	2.5000	6.2500
0:09:00	0.0607	1.2693	3.0000	9.0000
0:12:15	0.0609	1.2691	3.5000	12.2500
0:16:00	0.0608	1.2692	4.0000	16.0000
0:25:00	0.0610	1.2690	5.0000	25.0000
0:36:00	0.0611	1.2689	6.0000	36.0000
0:49:00	0.0612	1.2688	7.0000	49.0000
1:04:00	0.0612	1.2688	8.0000	64.0000
1:26:00	0.0612	1.2688	9.2736	86.0000
1:40:00	0.0613	1.2687	10.0000	100.0000
3:00:00	0.0614	1.2686	13.41640786	180
			T100	25

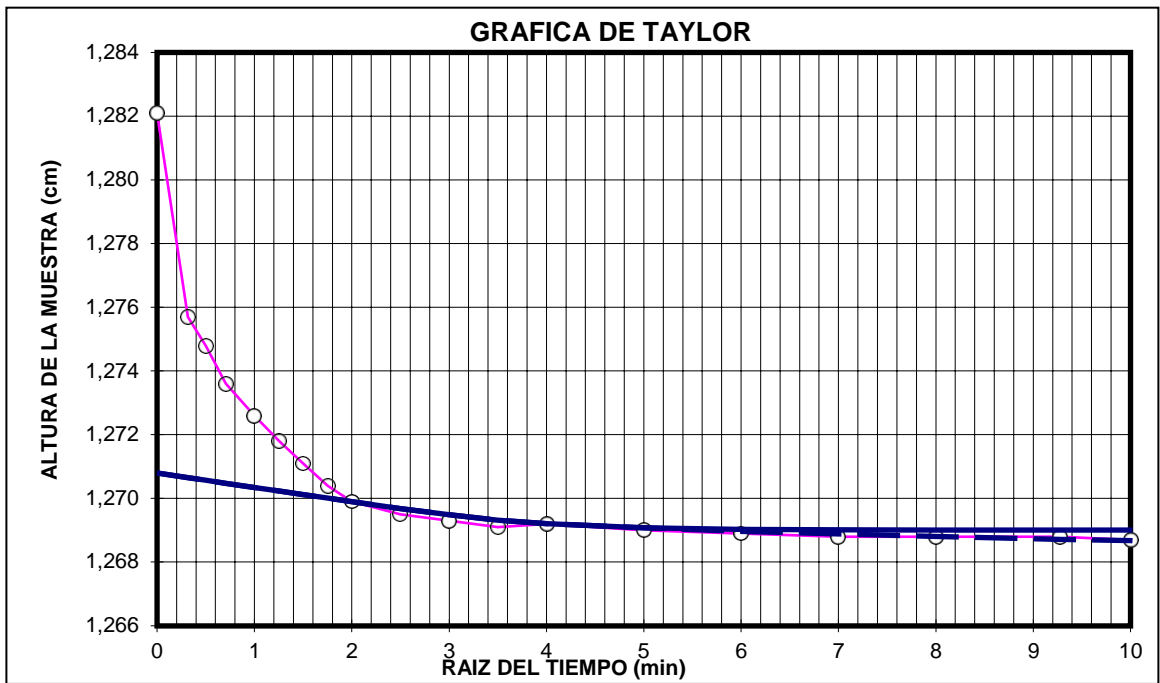


Ilustración 65. Gráfica de Taylor 8 kg Lidita Short

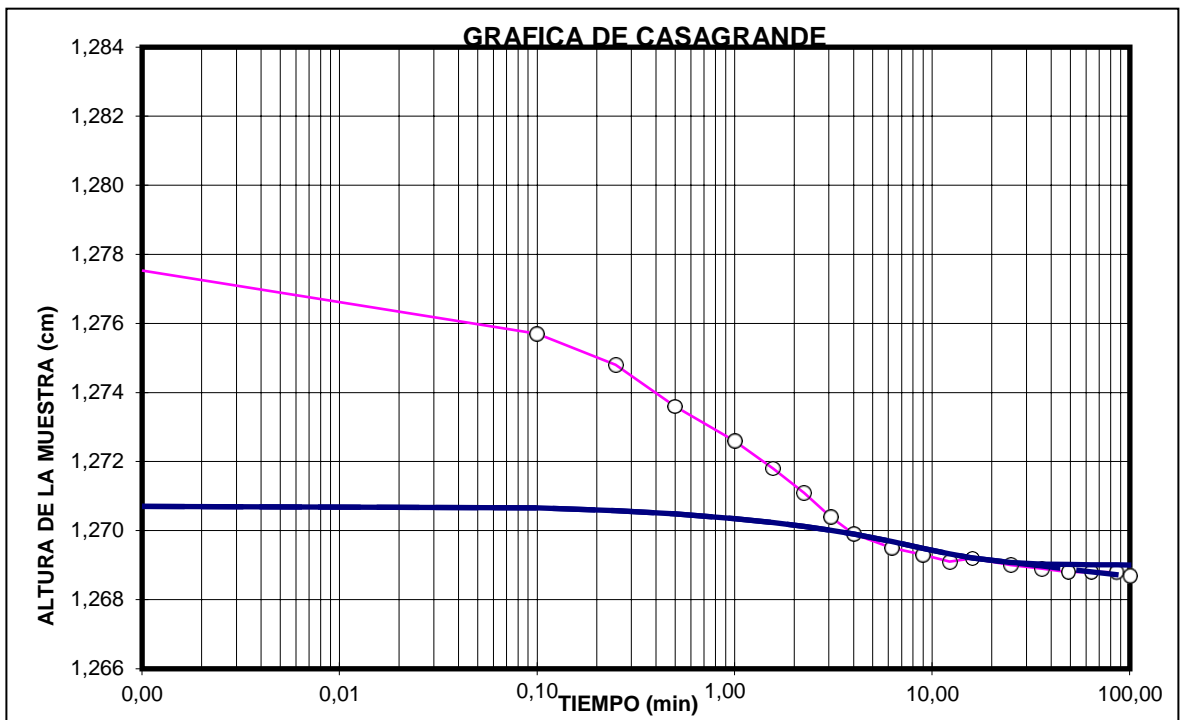


Ilustración 66. Gráfica de Casagrande 8kg Lidita Short

- Consolidación Carga 16 Kg7cm2 Lidita Short

Tabla 76. Coeficiente de consolidación 16kg Lidita Short

Ho (cm)	1.254	Cv (cm ² /min)	0.0150
H100 (cm)	1.252	Cv (m ² /dia)	0.0022
Hd (cm)	0.626	Ca	0.0004
T100 (min)	64.000	Mv (m ² /ton)	0.0001
		k (m/dia)	0.0000

Tabla 77. Lectura deformímetro carga 16kg Lidita Short

Tiempo	Lectura deformímetro	Altura muestra	Raíz (tiempo)	Tiempo
Horario		(cm)	(raíz min)	(min)
0:00:00	0.0614	1.2686	0.0001	0.0000
0:00:06	0.0696	1.2604	0.3162	0.1000
0:00:15	0.0714	1.2586	0.5000	0.2500
0:00:30	0.0734	1.2566	0.7071	0.5000
0:01:00	0.0748	1.2552	1.0000	1.0000
0:01:34	0.0756	1.2544	1.2517	1.5667
0:02:15	0.0762	1.2538	1.5000	2.2500
0:03:04	0.0763	1.2537	1.7512	3.0667
0:04:00	0.0765	1.2535	2.0000	4.0000
0:06:15	0.0769	1.2531	2.5000	6.2500
0:09:00	0.0770	1.2530	3.0000	9.0000
0:12:15	0.0772	1.2528	3.5000	12.2500
0:16:00	0.0773	1.2527	4.0000	16.0000
0:25:00	0.0774	1.2526	5.0000	25.0000
0:36:00	0.0775	1.2525	6.0000	36.0000
0:49:00	0.0777	1.2523	7.0000	49.0000
1:04:00	0.0779	1.2521	8.0000	64.0000
1:26:00	0.0780	1.2520	9.2736	86.0000
1:40:00	0.0781	1.2519	10.0000	100.0000
3:00:00	0.0782	1.2518	13.41640786	180
			T100	64

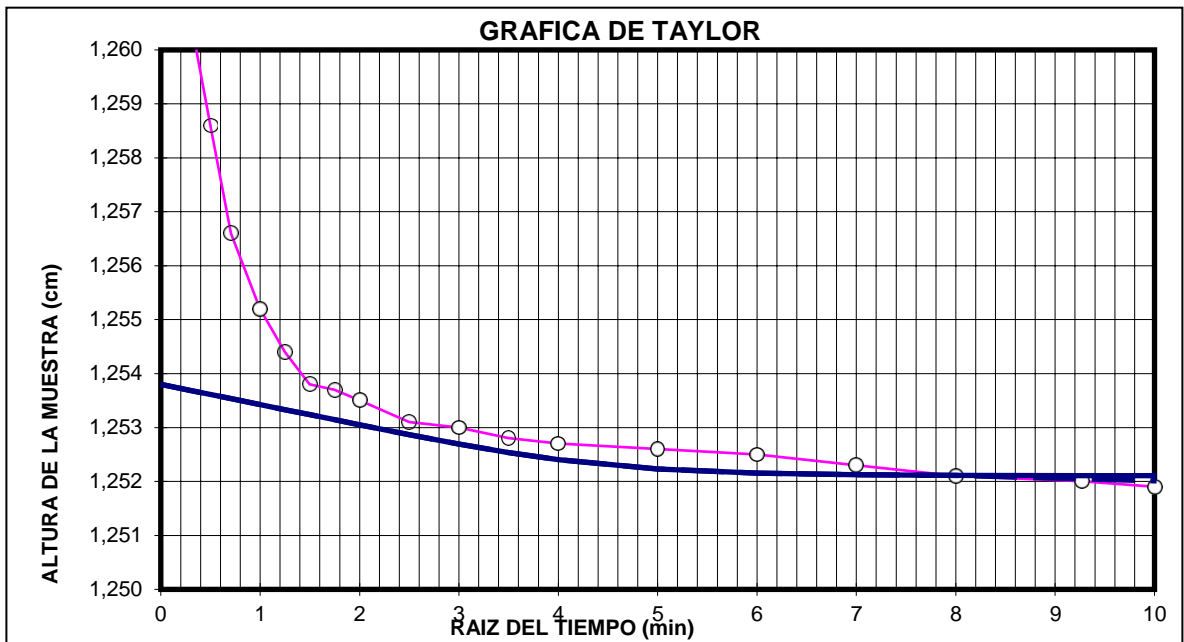


Ilustración 67. Gráfica de Taylor 16 kg Lidita Short

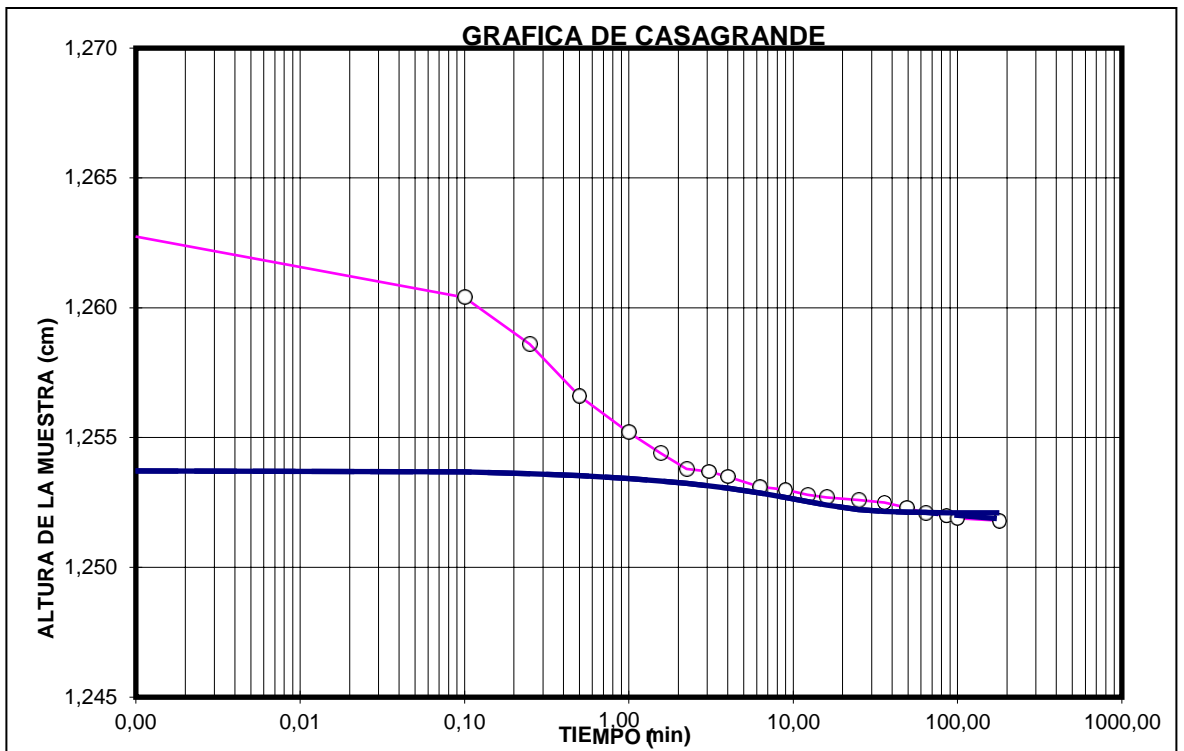


Ilustración 68. Gráfica de Casagrande 16kg Lidita Short

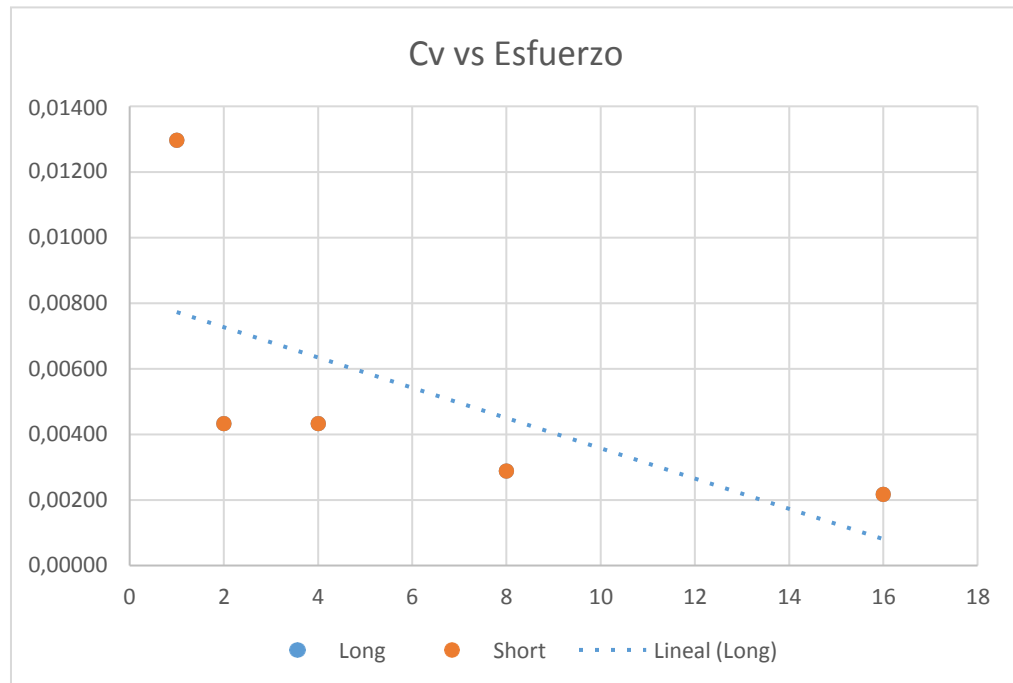


Ilustración 69. Cv vs Esfuerzo

La variación en las condiciones de esfuerzos que se apliquen sobre cualquier material, llevarán a una deformación del mismo, la cual será mayor o menor dependiendo del tipo de material.

La aplicación de la carga produce una variación en la estructura del material determinada por la reducción de vacíos existentes en el suelo.

En este proceso de consolidación se llevan a cabo diferentes etapas:

- Consolidación Inicial: Reducción casi instantánea producida en el momento propio de la aplicación de la carga inicial y que corresponde a la reducción de vacíos por eliminación de aire.
- Consolidación Primaria: Se lleva a cabo cuando con la aplicación de nuevas cargas la reducción del volumen es producto de la eliminación del agua presente en los vacíos, y donde las cargas son transferidas a la estructura mineral.
- Consolidación Secundaria: se lleva a cabo cuando con la aplicación de nuevas cargas la reducción de volumen es producto del acomodamiento de las partículas de la masa de suelo, que a su vez son responsables de la totalidad de la carga.

5. RESUMEN DE RESULTADOS

Tabla 78. Resumen de resultados de laboratorio

CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO				
LABORATORIO	OBJETIVO		LIDITA LONG	LIDITA SHORT
<i>CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DEL SUELO</i>	% CONTENIDO DE HUMEDAD		59,57	62,5
<i>GRAVEDAD ESPECÍFICA</i>	GS		2,65	2,6
<i>COMPRESION INCONFINADA</i>	DEFORMACIÓN UNITARIA		0.00 - 1.414 (%)	0.00 - 1.418 (%)
	ÁREA CORREGIDA		21.074 - 21.376 (cm ²) = 0.302 cm ²	21.648 - 21.959 (cm ²) = 0.311 cm ²
	ESFUERZO NORMAL		0.00 - 0.0327 (Kgf/cm ²)	0.00 - 0.0328 (Kgf/cm ²)
	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		3.662 (kpa)	3.565 (kpa)
	RESISTENCIA A EL CORTE		1.831 (kpa)	1.782 (kpa)
<i>DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO DE LOS SUELOS</i>	LIMITE LIQUIDO		26.72 (%)	26.66 (%)
	LIMITE PLÁSTICO		24.01 (%)	24.67 (%)
	ÍNDICE DE PLASTICIDAD		2.71 (%)	1.99 (%)
<i>ENSAYO DE CORTE DIRECTO</i>	ESFUERZO 0.25 Kg/cm ²	fuerza corte max	4.99 kgf	4.79 kgf
		Def. vertical	55 (1*10 ⁴)	53 (1*10 ⁴)

		área corregida	19.71-11.52 = 8.19 cm ²	20.11-11.92 = 8.19 cm ²
		esfuerzo normal	0.25 - 0.428 (Kg/cm ²)	0.25 - 0.422 (Kg/cm ²)
		esfuerzo corte	0.00 - 0.389 (Kg/cm ²)	0.00 - 0.351 (Kg/cm ²)
	ESFUERZO 1 Kg/cm ²	fuerza corte max	14.58 kgf	15.39 kgf
		Def. vertical	72 (1*10 ⁴)	76 (1*10 ⁴)
		área corregida	19.71-11.52 = 8.19 cm ²	20.11-11.92 = 8.19 cm ²
		esfuerzo normal	1 - 1.711 (Kg/cm ²)	1 - 688 (Kg/cm ²)
		esfuerzo corte	0.00 - 1.221 (Kg/cm ²)	0.00 - 1.206 (Kg/cm ²)
	ESFUERZO 1.5 Kg/cm ²	fuerza corte max	18.86 kgf	18.76 kgf
		Def. vertical	85 (1*10 ⁴)	88 (1*10 ⁴)
		área corregida	19.71-11.52 = 8.19 cm ²	20.11-11.92 = 8.19 cm ²
		esfuerzo normal	1.5 - 2.567 (Kg/cm ²)	1.5 - 2.51 (Kg/cm ²)
		esfuerzo corte	0.00 - 1.593 (Kg/cm ²)	0.00 - 1.557 (Kg/cm ²)

	ángulo de fricción f'		29.64°	29.60°
	cohesión, c'		0.174 Kgf/cm ²	0.167 Kgf/cm ²
<i>CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS</i>	compresibilidad	% humedad	35,29	36,48
		% saturación	82	84
		relación vacíos	1.226 inicial - 1.135 final	1.292 inicial - 1.154 final
		altura solidos	0.601 cm	0.595 cm
		Cr	0,004	0,004
		Cc	0,01	0,01
		Cs	0,004	0,004
	carga 1 kg	modulo confinado	1832.54 (ton/m ²)	1718.01 (ton/m ²)
		esfuerzo vertical	0.03 (kg/cm ²)	0.032 (kg/cm ²)
		Di altura	0.03 cm	0.032 cm
		Cv (m ² /dia)	0,013	0,013
		Mv (m ² /ton)	0,0003	0,0002
	carga 2 kg	modulo confinado	7635.6 (ton/m ²)	11219.66 (ton/m ²)

		esfuerzo vertical	0.0371 (kg/cm ²)	0.0369 (kg/cm ²)
		Di altura	0.007 cm	0.005 cm
		Cv (m ² /dia)	0,0043	0,0043
		Mv (m ² /ton)	0,0002	0,0002
	carga 4 kg	modulo confinado	10372.89 (ton/m ²)	9995.7 (ton/m ²)
		esfuerzo vertical	0.0478 (kg/cm ²)	0.0479 (kg/cm ²)
		Dif altura	0.011 cm	0.011 cm
		Cv (m ² /dia)	0,0043	0,0043
		Mv (m ² /ton)	0,0002	0,0001
	carga 8 kg	modulo confinado	16410.85 (ton/m ²)	16289.28 (ton/m ²)
		esfuerzo vertical	0.0611 (kg/cm ²)	0.0614 (kg/cm ²)
		Dif altura	0.013 cm	0.013 cm
		Cv (m ² /dia)	0,0029	0,0029
		Mv (m ² /ton)	0,0001	0,0001
	carga 16 kg	modulo confinado	25871.22 (ton/m ²)	26179.21 (ton/m ²)
		esfuerzo vertical	0.0780 (kg/cm ²)	0.0782 (kg/cm ²)

	Dif altura	0.017 cm	0.017 cm
	Cv (m ² /dia)	0,0022	0,0022
	Mv (m ² /ton)	0,0001	0,0001

6. CONCLUSIONES

- El suelo denominado Lidita, tanto en su tipo Long como en Short, presentan un alto contenido de sílice, lo que puede representar que podrían llegar a tener una resistencia al desgaste alta. El acompañamiento de los demás componentes que se evidenciaron en la microscopía electrónica de barrido pueden adicionar otras características como el color.
- Aunque los suelos se presenten con diferente composición química, esa variación puede no afectar el comportamiento mecánico e hidráulico de los mismos.
- La Lidita no presenta un comportamiento plástico en ninguno de sus tipos, lo que imposibilitó que se pudiese realizar el ensayo de límites de Atterberg por medio de la cazuela de Casagrande, lo cual nos permite concluir que es un material más arenoso con poco contenido de arcilla.
- Los suelos Lidita al no ser plásticos ni cohesivos, pero tener un alto ángulo de fricción podría ser utilizado para algunos usos en la construcción, por ejemplo con algunos estudios más avanzados y algunos ensayos de laboratorio adicionales, se podría usar como filler para preparación de muestras de asfaltos.
- La microscopía electrónica de barrido indicó la presencia de partículas de formas circulares simétricas que pueden proponer la presencia de fósiles microscópicos radiolares que se podrían confirmar realizando estudios más profundos de caracterización de suelos.
- Las dos muestras de Lidita, Short y Long en cuanto a su comportamiento mecánico e hidráulico, no presentan diferencias significativas que puedan determinar que los dos suelos son diferente, en general, los resultados demuestran gran similitud lo que indica que es el mismo material con la única diferencia en relación a su aspecto físico como el color y forma lo que se puede concluir de su composición química.

7. RECOMENDACIONES

- Para dar continuidad al estudio del suelo se recomienda realizar un ensayo de difracción de rayos x que permita determinar más a fondo su composición química, sus compuestos y su estructura molecular, esto podría indicar otras características del suelo.
- Se recomienda realizar un estudio de fluorescencia de rayos x para determinar la mineralogía del suelo, lo cual podría indicar características que posibiliten el uso del material en más actividades para la construcción.
- Realizar una microscopía electrónica con equipos más especializados para determinar de una manera más acertada la presencia de sistemas óseos radiolarios.

8. BIBLIOGRAFÍA

ALICANTE. (2013). Glosarios servidor. [En línea] 28 de 12 de 2013. <<http://glosarios.servidor-alicante.com/mineria/lidita>>. [Citado en 28 de Agosto de 2017].

BURLAND, J.B; On the compressibility and shear strength of natural clays. s.l. : Géotechnique, (1990).

BOLTOVSKOY, Demetrio; Bender, Sonia y Pedrozo, Fernando; Some new techniques for the preparaion and illustration of polyvystina (Radiolaria). Buenos Aires: s.n., (1983).

CAICEDO, B; ZULUAGA, D Y SLEBI, C. Characterization parameters and mechanical response in diatomaceous soil depending on species, (2017).

CHAVARRO, Gerardo y CARDOZO, Javier; Estudios de suelos, uso y cobertura, I.P.H. *alcaldía municipal de villarrica*, (2003).

FAZLUTDINOVAA, A.I Y SUKHANOVA, Impact, Composition of soil diatoms in zones, (2012).

GRIEM, W; Museo Virtual, Geología. (2016). <<http://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap05e.htm>>. [Citado en 06 de septiembre de 2017].

HOLLIS, Chris; ARCHANGELSKy, Sergio; CARD, Orlando; Early Cretaceous Radiolarians from southernmost; Mus. Argent. Cienc. Nat. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: s.n, Vol. 11, (2009),

MARTÍNEZ, José Ignacio y VERGARA, Luis Eduardo: Geología Colombiana. No. 24, (1990).

PALOMINO, Angélica M; KIM, Sungho; SUMMITTT, Alex; Impact of diatoms on fabric and chemical stability of diatom–kaolin mixtures, (2011).

TARRIÑO, Andonni; rocas silicias sedimentarias, (1998).

TERRAZA, Roberto; Origen diagenético de Cherts y Porcelanitas en las formaciones Lidita. Bogotá D. Geología Colombiana No. 28, (2003). pág. 83.

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, Microscopía de Barrido de Electrones (MEB), (2015).

UNIVERSITY COLLEGE LONDON, Microfossil Image Recovery And Circulation, Micropalaeontology Unit, (2002).

RABAT BLAZQUEZ, Álvaro; (Aplicabilidad del penetrómetro cónico en la determinación del límite líquido en suelos de baja y media plasticidad).

NORMA BRITÁNICA BS 1377 (1990) – Ensayo de cono de penetración de caída para determinación de límites.

NORMAS Y ESPECIFICACIONES INVIAS (I.N.V. E – 123. (*determinación de los tamaños de las partículas de los suelos*) I.N.V. E – 125. (*determinación del límite líquido de los suelos*). I.N.V. E – 126. (*límite plástico e índice de plasticidad de los suelos*). I.N.V.E–151.(*consolidación unidimensional de los suelos*) I.N.V.E–152. (*compresión inconfiada en muestras de suelos*) I.N.V. E – 122. (*Determinación en el laboratorio de contenido de agua (humedad) de muestras de suelo*) I.N.V. E – 154. (*Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (CD)*)).

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. 2011 - Guía “Las Aguas Subterráneas un enfoque práctico”.

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. 2011 - geología de la sabana de Bogotá.

GRACOMAQ - Componentes de la Tierra [En línea].

Carbonato - [En línea]. <http://cfm-minerales.es/carbonato>

Cuarzo - [En línea]. <http://expopiedras.com/project/cuarzo-2>

Limo - [En línea]. <http://geologiaonline.com/limo>

Diatomeas - [En línea]. <http://cienciatoday.com/diatomeas>

Fractura concoide - [En línea]

<http://cienciascognoscitivas.blogspot.com.co/2012/10/las-herramientas-y-la-evolucion-humana.html>

Sedimentación - [En línea].

<https://cienciaybiologia.com/sedimentacion-y-estratificacion/>

