

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE SUELOS ARCILLOSOS DESPUES  
DE LA ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T- 2400

CARLOS ALFONSO TRIANA RODRIGUEZ  
DIEGO ARMANDO VILLAMIZAR DUARTE

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACION  
INGENIERIA CIVIL

2010

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE SUELOS ARCILLOSOS DESPUES  
DE LA ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T- 2400

CARLOS ALFONSO TRIANA RODRIGUEZ  
DIEGO ARMANDO VILLAMIZAR DUARTE

Proyecto de investigación para optar  
por el título de ingeniero civil

Director  
GERARDO BAUTISTA GARCIA  
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACION  
INGENIERIA CIVIL

2010

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bucaramanga, Diciembre 10 de 2010

## **AGRADECIMIENTOS**

La realización de este trabajo de grado contó con varios colaboradores los cuales hicieron posible su desarrollo por este motivo queremos expresar nuestros agradecimientos.

A nuestros familiares quienes con su apoyo y voces de aliento hicieron posible el cumplimiento de esta meta.

Al ingeniero GERARDO BAUTISTA, director del proyecto, por darnos la oportunidad de trabajar junto a él en esta investigación y guiarnos durante todo este proceso.

A los señores HELY RUEDA Y VICENTE PAEZ, laboratoristas de la universidad pontificia bolivariana quienes con su experiencia y conocimiento ayudaron a un mejor desempeño en los ensayos realizados al suelo estudiado.

A la ingeniera LUZ MARINA TORRADO, coordinadora de los laboratorios de suelos, por apoyar esta investigación brindándonos las facilidades para el uso de los equipos de laboratorio.

Al ingeniero ALIRIO BAUTISTA CACERES, por suministrar el material utilizado en esta investigación.

*Dedicado a....*

*A Dios que me dio sabiduría y  
fortaleza para alcanzar esta meta,  
a mis amigos que me acompañaron  
en este proceso y especialmente a mi  
mamá quien con su trabajo y esfuerzo  
hicieron de este sueño una realidad.*

**CARLOS ALFONSO**

*Dedicado a....*

*Primero que todo a dios que me  
ilumino en el recorrido de este  
camino, a mi familia por  
acompañarme en las buenas y  
las malas y a todos mi amigos  
que estuvieron presentes a lo  
largo de toda la carrera.*

**DIEGO ARMANDO**

## CONTENIDO

|  | Pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN   | 15   |
| 1. OBJETIVOS   | 16   |
| 1.1 OBJETIVO GENERAL   | 16   |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS  | 16   |
| 2. EL SUELO  | 17   |
| 2.1 ORIGEN DE LOS SUELOS   | 17   |
| 2.2 TIPOS DE SUELO   | 17   |
| 2.3 CLASIFICACION DE LOS SUELOS                                      | 18   |
| 2.4 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE LOS SUELOS<br>(SUCS)       | 18   |
| 2.5 CARACTERIZACION DEL MATERIAL UTILIZADO                           | 21   |
| 2.5.1 GRANULOMETRÍA  | 21   |
| 2.5.2 LIMITES DE CONSISTENCIA  | 22   |
| 2.5.3 CLASIFICACIÓN DEL SUELO ESTUDIADO                              | 22   |
| 2.6 ENSAYOS DE COMPACTACION  | 23   |
| 2.7 ENSAYOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL CORTE<br>DE LOS SUELOS | 24   |
| 2.7.1 ENSAYOS DE CORTE DIRECTO                                       | 24   |
| 3. GEOTEXTILES   | 26   |
| 3.1 GEOSINTETICOS  | 26   |
| 3.2 GEOTEXTILES  | 26   |
| 3.2.1 CLASIFICACION DE LOS GEOTEXTILES                               | 26   |
| 3.2.1.1 Clasificación según su método de fabricación                 | 26   |
| 3.2.1.2 Clasificación según su composición                           | 27   |
| 3.2.2 FUNCIONES Y CAMPS DE APLICACIÓN                                | 27   |
| 3.2.2.1 Función de separación  | 28   |

|   |    |
|---|----|
| 3.2.2.2 Función de refuerzo   | 28 |
| 3.2.2.3 Función de drenaje  | 28 |
| 3.2.2.4 Función de filtro   | 28 |
| 3.2.2.5 Función de protección   | 28 |
| 3.2.2.6 Función de impermeabilización   | 29 |
| 4. NORMAS DE ENSAYO Y ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION PARA EL GEOTEXTIL  | 30 |
| 5. METODOLOGIA  | 32 |
| 6. RESULTADOS   | 35 |
| 6.1 RESULTADOS DE CLASIFICACION   | 35 |
| 6.2 RESULTADOS DE COMPACTACION  | 37 |
| 6.3 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS SIN REFUERZO   | 37 |
| 6.4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO REFORZADAS CON FIBRAS DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400          | 39 |
| 6.4.1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE LONGITUD DE 1 cm Y PORCENTAJE DE 0,25% | 40 |
| 6.4.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE LONGITUD DE 1 cm Y PORCENTAJE DE 0,50% | 41 |
| 6.4.3 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE LONGITUD DE 1 cm Y PORCENTAJE DE 0,75% | 43 |
| 6.4.4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE LONGITUD DE 2 cm Y PORCENTAJE DE 0,25% | 44 |
| 6.4.5 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE LONGITUD DE 2 cm Y PORCENTAJE DE 0,50% | 46 |

|   |    |
|---|----|
| 6.4.6 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO<br>REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE<br>LONGITUD DE 2 cm Y PORCENTAJE DE 0,75% | 47 |
| 6.4.7 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO<br>REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE<br>LONGITUD DE 3 cm Y PORCENTAJE DE 0,25% | 49 |
| 6.4.8 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO<br>REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE<br>LONGITUD DE 3 cm Y PORCENTAJE DE 0,50% | 50 |
| 6.4.9 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO<br>REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE<br>LONGITUD DE 3 cm Y PORCENTAJE DE 0,75% | 52 |
| 7. ANALISIS DE RESULTADOS   | 54 |
| 8. CONCLUSIONES   | 58 |
| 9. RECOMENDACIONES  | 60 |
| 10. BIBLIOGRAFIA  | 62 |

## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo A.** Normas y especificaciones de los ensayos realizados (INVIAS).

**Anexo B.** Registro fotográfico.

**Anexo C.** Ensayos de granulometría.

**Anexo D.** Ensayos de límite plástico y límite líquido.

**Anexo E.** Ensayo de límite de contracción.

**Anexo F.** Ensayos de compactación.

**Anexo G.** Ensayos de corte directo.

## LISTA DE TABLAS

|   | Pág. |
|---|------|
| <b>TABLA 1.</b> RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE GRANULOMETRIA  | 35   |
| <b>TABLA 2.</b> RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LIMITE PLASTICO<br>Y LIMITE LIQUIDO  | 36   |
| <b>TABLA 3.</b> RESULTADOS DEL ENSAYO DE LIMITE DE<br>CONTRACCION   | 37   |
| <b>TABLA 4.</b> RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPACTACION   | 37   |
| <b>TABLA 5.</b> CUADRO RESUMEN SUELO SIN REFUERZO   | 38   |
| <b>TABLA 6.</b> RESUMEN ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.SUELO<br>REFORZADO CON FIBRAS DE 1cm DE LONGITUD Y 0,25%<br>EN PESO          | 40   |
| <b>TABLA 7.</b> CUADRO RESUMEN ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.<br>SUELO REFORZADO CON FIBRAS DE 1cm DE LONGITUD Y 0,50%<br>EN PESO  | 41   |
| <b>TABLA 8.</b> CUADRO RESUMEN ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.<br>SUELO REFORZADO CON FIBRAS DE 1cm DE LONGITUD Y 0,75%<br>EN PESO  | 43   |
| <b>TABLA 9.</b> CUADRO RESUMEN ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.<br>SUELO REFORZADO CON FIBRAS DE 2cm DE LONGITUD Y 0,25%<br>EN PESO  | 44   |
| <b>TABLA 10.</b> RESUMEN ENSAYOS DE CORTE DIRECTO. SUELO<br>REFORZADO CON FIBRAS DE 2cm DE LONGITUD Y 0,50%<br>EN PESO        | 46   |
| <b>TABLA 11.</b> CUADRO RESUMEN ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.<br>SUELO REFORZADO CON FIBRAS DE 2cm DE LONGITUD Y 0,75%<br>EN PESO | 47   |

|   |    |
|---|----|
| <b>TABLA 12.</b> CUADRO RESUMEN ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.<br>SUELO REFORZADO CON FIBRAS DE 3cm DE LONGITUD Y 0,25%<br>EN PESO | 49 |
| <b>TABLA 13.</b> CUADRO RESUMEN ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.<br>SUELO REFORZADO CON FIBRAS DE 3cm DE LONGITUD Y 0,50%<br>EN PESO | 50 |
| <b>TABLA 14.</b> CUADRO RESUMEN ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.<br>SUELO REFORZADO CON FIBRAS DE 3cm DE LONGITUD Y 0,75%<br>EN PESO | 52 |

## LISTA DE FIGURAS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| <b>FIGURA 1.</b> DESPLAZAMIENTO EN EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO       | 24          |
| <b>FIGURA 2.</b> MATERIAL EN ESTADO NATURAL                         | 32          |
| <b>FIGURA 3.</b> EXTRACCIÓN DE MATERIAL                             | 33          |
| <b>FIGURA 4.</b> MATERIAL ANTES DE SER PULVERIZADO                  | 33          |
| <b>FIGURA 5.</b> CURVAS GRANULOMÉTRICAS                             | 35          |
| <b>FIGURA 6.</b> CARTA DE PLASTICIDAD                               | 36          |
| <b>FIGURA 9.</b> ÁNGULO DE FRICCIÓN Vs PORCENTAJE DE FIBRA DE 1CM.  | 54          |
| <b>FIGURA 8.</b> COHESION Vs PORCENTAJE DE FIBRA DE 3CM             | 55          |
| <b>FIGURA 9.</b> ÁNGULO DE FRICCIÓN Vs PORCENTAJE DE FIBRA DE 2CM.  | 55          |
| <b>FIGURA 10.</b> COHESIÓN Vs PORCENTAJE DE FIBRA DE 2CM.           | 56          |
| <b>FIGURA 11.</b> ÁNGULO DE FRICCIÓN Vs PORCENTAJE DE FIBRA DE 3CM. | 56          |
| <b>FIGURA 12.</b> COHESIÓN Vs PORCENTAJE DE FIBRA DE 3 CM           | 57          |

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad conocer el comportamiento que presentan los suelos finos luego de la adición de fibra de geotextil tejido T-2400, para esto se estudió el ángulo de fricción interna y la cohesión buscando mejorar estas condiciones.

Se trabajó con una muestra de arcilla donada por la ladrillera BAUTISTA CACERES. A esta muestra se le realizaron algunos ensayos de clasificación tales como granulometría, límite plástico y límite líquido para conocer las características del material, también se hicieron ensayos de compactación tipo Proctor modificado para saber el porcentaje de humedad óptima del suelo, luego de esto se procedió a dar cumplimiento al objetivo principal de esta investigación, para lo cual se realizaron ensayos de corte directo con el fin de conocer la variación que se presentaba en el ángulo de fricción interna y la cohesión para el suelo sin refuerzo y para el suelo después de la adición de la fibra de geotextil tejido.

El geotextil se adicionó al suelo en diferentes longitudes y porcentajes, se escogieron longitudes de 1cm, 2cm y 3cm y porcentajes de 0.25%, 0.50% y 0.75%, estos valores se escogieron con base a investigaciones pasadas.

Luego de realizar los ensayos correspondientes y conociendo los resultados arrojados por estos ensayos se hizo un análisis para determinar la variación del ángulo de fricción interna y la cohesión dando un valor aproximado de longitud y porcentaje de fibra óptimos.

Además se hicieron algunas recomendaciones para garantizar mejores resultados en investigaciones futuras.

Palabras claves: Geotextil, fibras, arcilla, ángulo de fricción, cohesión.

## **ABSTRACT**

The present research is to examine the behavior showing of the fine soils after the addition of geotextil fiber T – 2400. For this was studied the angle of internal friction and cohesion, looking to improve these conditions.

The research worked with a clay sample donated by brick BAUTISTA CACERES. This sample was subjected to some tests such as particle size classification, plastic limit and liquid limit, to ascertain the nature of material, also became compaction test type modified Proctor to determine the optimum moisture content of soil, after this we proceeded to comply with the main objective of this research, for which direct shear tests performed to know the variations observed in the angle of internal friction and cohesion for unreinforced soil and the soil after the addition of geotextil fiber.

The geotextil was added to the soil in different lengths and percentages were chosen lengths of 1cm, 2cm, and 3cm and percentages of 0,25%, 0,50% and 0,75%, these values were chosen based on past research.

After performing the relevant tests and knowing the results obtained from these trials, analysis was performed to determine the variation of the angle of internal friction and cohesion, giving an approximate value of fiber length and percentage optimal.

Made some recommendations to ensure better results in the future research.

Key words: geotextil, fiber, clay, friction angle, cohesion.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo busca conocer el comportamiento de los suelos finos luego de la adición de fibras de geotextil tejido, para obtener la longitud y porcentaje óptimo (aquel que produzca el mayor aumento en el ángulo de fricción interna)

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

Los valores del ángulo de fricción y la cohesión para suelos reforzados y no reforzados se obtuvieron mediante ensayos de corte directorealizados con una máquina digital.

Realizando el análisis correspondiente a todos los resultados obtenidos en esta investigación, se estimó un valor aproximado de porcentaje y longitud óptima de fibra que se debe adicionar al suelo para lograr su mejor comportamiento, estos resultados complementan la base de datos de una serie de investigaciones previas en las que se buscaba alcanzar el mismo objetivo utilizando materiales de características diferentes.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1. Objetivo General.

- Determinar el porcentaje óptimo de fibras de geotextil tejido T-2400 que debe agregarse para aumentar el ángulo de fricción interna del suelo arcilloso, y la longitud de la fibra que ofrece la mejor resistencia al corte.

### 1.2. Objetivos Específicos.

- Delimitar el tipo de suelo que se va a estudiar mediante la clasificación de este por medio de análisis granulométrico, límites de plasticidad y especificar la humedad óptima para la compactación de las muestras.
- Obtener a partir de un banco de datos elaborado por los estudiantes de este proyecto de grado, los parámetros de caracterización del suelo, antes y después de la adición de las fibras de geotextil tejido T-2400, al realizar en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Pontificia Bolivariana, el ensayo de corte directo a 300 probetas de arcillas proporcionadas por una ladrillera de la ciudad, con diferentes porcentajes de geotextil y distintas longitudes de las fibras.
- Observar la variación de los límites líquido, plástico y de contracción del suelo después de la adición de las fibras de geotextil tejido.
- Analizar mediante la aplicación de la mecánica de suelos y de la estadística descriptiva, los resultados obtenidos (cohesión y ángulo de fricción) de los ensayos anteriormente mencionados para el contenido de humedad óptimo del suelo en cuestión.

## 2. EL SUELO

### 2.1. ORIGEN DE LOS SUELOS<sup>1</sup>

La superficie de la tierra está compuesta en su mayoría por rocas cuya formación geológica ha llevado varios millones de años. Durante este tiempo la superficie rocosa ha sufrido una desintegración y una descomposición debido a una gran variedad de factores en los que se encuentra la meteorización.

Como causa de la permanente exposición a los agentes atmosféricos gran parte de los residuos de roca fragmentada por la meteorización es arrastrada y sometida a desgaste y mas fragmentación, luego de esto es depositada frecuentemente a lo largo del curso de las fuentes hídricas.

Debido a este proceso, gran parte de la tierra está cubierta por una acumulación de materiales sin cimentación, al cual se le ha denominado suelo.

### 2.2. TIPOS DE SUELO<sup>2</sup>

Los depósitos de suelos naturales están separados en dos grandes tipos, los que a causa de diversos factores atmosféricos son transformados y dejados en el lugar de origen son conocidos como residuales y los que a causa de estos factores atmosféricos son depositados en lugares que no tienen relación directa con su origen son llamados suelos transportados.

Los suelos residuales se han formado completamente por meteorización in situ y han permanecido en su posición original. Esto ha ocurrido en zonas que no han sido sometidas a temperaturas muy bajas o de congelación.

Los suelos transportados han sido desplazados de su posición original y llevados a otro sitio por agentes transportadores como el agua, el viento, y el

---

<sup>1</sup> JIMENEZ SALAS, José A. Mecánica del suelo y sus aplicaciones a la ingeniería. Madrid: Dossat 1954.

<sup>2</sup> BERRY, Peter L y REID David. Mecánica de suelos. Primera edición. Bogotá: McGraw Hill.

hielo. El tamaño y forma de las partículas están determinados por el agente de transporte y la formación de los depósitos

### 2.3. CLASIFICACION DE LOS SUELOS<sup>3</sup>

Con el transcurso de los años, y a causa de la presencia de una amplia variedad de suelos, numerosos sistemas de clasificación de los suelos han sido propuestos. Aunque no existe un sistema reconocido como único y que sea utilizado en todos los campos de la ingeniería, unos de los más usados en la clasificación son el sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S) y el sistema de clasificación AASHTO. El sistema AASHTO fue desarrollado por el US BOREAU OF PUBLIC ROADS en los años veintes a fin de establecer la conveniencia de usar un material para la construcción de una vía.

El sistema unificado, desarrollado en primer lugar por Casagrande se origina para ser usado en la construcción de aeropuertos. Luego se modifica con el propósito de extender su aplicación y a partir de eso fue adoptado por la AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS como el método estándar de clasificación de suelos para fines ingenieriles.

### 2.4. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE LOS SUELOS (SUCS)<sup>4</sup>

Este sistema aparece como resultado de una modificación hecha por A. Casagrande al sistema de clasificación propuesto para aeropuertos.

El sistema está basado en la forma de diferenciarel suelo grueso del fino mediante el cribado de este por la malla N° 200, el suelo retenido en esta malla se denomina grueso mientras que el que pasa es llamado fino.

Los tipos de suelos se designan con un símbolo que los encasilla en un grupo correspondiente.

---

<sup>3</sup> BERRY, Peter L y REID, David. Mecánica de suelos. Primera edición. Bogotá: McGraw Hill.

<sup>4</sup> JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ Alfonso, Mecánica de suelos: fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I. Tercera edición. Mexico D.F: Limusa Noriega.

## SUELOS GRUESOS:

### GRUPO **GW – SW**

Estos suelos son bien gradados y con pocos o nada de finos, la presencia de finos debe afectar en nada las características de resistencia o drenaje de las gravas, esto se garantiza en la práctica comprobando que los finos no superen el 5% en peso.

### GRUPO **GP – SP**

Estos suelos son mal gradados, presentan una apariencia uniforme, es decir presentan predominio de un tamaño, pasando de uno a otro de forma abrupta omitiendo algunos de ellos. Dentro de este grupo están comprendidas las gravas uniformes, tales como las que se depositan en los lechos de los ríos, las arenas uniformes de playas y mezclas de gravas.

### GRUPO **GM – SM**

En este grupo el contenido de finos si afecta las características de resistencia y el drenaje natural de la fracción gruesa, esto sucede cuando el porcentaje de finos supera el 12% en peso por lo cual este dato se toma como límite inferior de dichas partículas, este grupo presenta una plasticidad que varía entre nula y media.

### GRUPO **GC – SC**

Este grupo también presenta más del 12% de contenido de finos, con un requisito adicional el cual es que el limite plástico situé la fracción por encima de la Línea A, y además que su índice plástico sea mayor que 7.

SUELOS FINOS:

### GRUPO **CL – CH**

Este grupo es el de las arcillas inorgánicas, el grupo CL comprende la zona definida por  $LL < 50\%$  e  $IP > 7\%$ . Dentro de este grupo se encuentra el tipo de suelo que será empleado en este proyecto.

El grupo CH comprende la zona con  $LL > 50\%$ , también se incluyen las arcillas formadas por descomposición química de cenizas volcánicas.

### GRUPO **ML – MH**

El grupo ML corresponde a las partículas que caen bajo la línea A con  $IP < 4\%$  y  $LL < 50\%$ , mientras que el grupo MH corresponden las partículas bajo la línea A con  $LL > 50\%$ . Dentro de este grupo se encuentran los limos típicos inorgánicos y limos arcillosos.

### GRUPO **CL**<sup>5</sup>

Con referencia al grupo CL se puede decir acerca de sus propiedades que: Mientras el suelo no presente fisuras, es un suelo impermeable, durante una prueba de consolidación el coeficiente de permeabilidad es adecuado. En estos tipos de suelos se recomienda hacer pruebas de laboratorio ya que en estado no saturado pueden presentar asentamientos bruscos, y suelos en estado seco al aumentar su contenido de agua pueden presentar expansión alta.

Es indispensable realizar pruebas de corte directo en el laboratorio para estos tipos de suelo, en caso de no disponer de este ensayo se recomienda usar la prueba de veleta.

Estas arcillas presentan una resistencia a la tubificación entre media y alta, entendiendo la importancia de la heterogeneidad de los depósitos. Además presentan susceptibilidad prácticamente nula a la licuación.

---

<sup>5</sup> BOWLES, Joseph. Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil. Segunda edición. Bogotá D.C. MC GRAW HILL.

## 2.5. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL UTILIZADO

Debido a los requerimientos de este proyecto de grado, el cual busca saber cuál es el comportamiento del ángulo de fricción de un suelo fino luego de adicionarle fibras de geotextil tejido en diferentes dimensiones, se decidió trabajar con una muestra de suelo arcilloso proveniente de una cantera de la ciudad de Bucaramanga.

La muestra de suelo presenta un color gris, con presencia de arenas de color marrón en una proporción muy pequeña, estas características del suelo son muy similares al usado en una investigación realizada previamente por, (BARAJAS LOZANO, Herik y VANEGAS BARRERA, Germán. 2008).

### 2.5.1. GRANULOMETRÍA<sup>6</sup>

La granulometría es el proceso de determinación de la proporción en la que se encuentran distintos tamaños de partículas presentes en un suelo. A esta proporción se le conoce también como gradación del suelo.

Este proceso muchas veces se hace usando el método de tamizado gracias a su facilidad, este método se usa principalmente en partículas gruesas y consiste en hacer pasar partículas individuales del suelo por una serie de mallas con aberturas diferentes. Las mallas se acomodan en orden descendente según el tamaño de la abertura.

Para el proceso de tamizado, el material debe ser pesado seco, luego lavado en el tamiz No 200, se deja secar y se pesa nuevamente, la diferencia entre estos pesos define el material que pasa por el tamiz No 200. El material seco que sobra es pasado por la serie de tamices para calcular la cantidad que se retiene en cada uno de ellos y así poder dibujar la línea granulométrica, la cual es la finalidad de este ensayo.

---

<sup>6</sup> JIMENEZ SALAS, José A. Mecánica del suelo y sus aplicaciones a la ingeniería. Madrid: Dossat 1954.

### 2.5.2. LÍMITES DE CONSISTENCIA<sup>7</sup>

La capacidad que tiene un suelo de deformarse sin romperse es conocida como plasticidad, Atterberg pudo comprobar que la plasticidad no era una propiedad permanente en las arcillas sino circunstancial y depende directamente de su contenido de agua, según este un suelo susceptible a ser plástico puede dividirse en los siguientes estados de consistencia:

- Estado líquido
- Estado semi-líquido
- Estado plástico
- Estado semi-sólido
- Estado sólido

Entre estas existen unas fronteras que definen su consistencia, la frontera entre el estado semi-líquido y plástico es llamado límite líquido, este es hallado poniendo el suelo re moldeado en una cápsula y luego se le hace una ranura, luego se golpea la capsula sobre una superficie dura, después de 25 golpes el suelo se toca sin mezclarse y esto significa que está en su límite líquido.

La frontera entre los estados plástico y semi-sólido fue llamada límite plástico, este se determina haciendo rollos con un fragmento de suelo hasta convertirlo en cilindro de un espesor de 3mm y cuando éste presente desmoronamiento significa que el suelo está en su límite plástico.

La frontera entre los estados semi-sólido y sólido se denomina límite de contracción este se halla con el porcentaje de agua al cual una muestra de suelo no disminuye su volumen al seguirse secando.

### 2.5.3. CLASIFICACIÓN DEL SUELO ESTUDIADO

Siguiendo los parámetros de clasificación del sistema unificado de clasificación de los suelos se encasilló el suelo en el grupo de las arcillas de baja compresividad del tipo (CL). Aunque en la actualidad existen varios

---

<sup>7</sup> JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ Alfonso, Mecánica de suelos: fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I. Tercera edición. Mexico D.F: Limusa Noriega.

sistemas de clasificación debido a la diversidad de suelos y a la diferencia en la forma como son analizados estos suelos según sus requerimientos, todos estos sistemas están basados en las propiedades mecánicas de los suelos debido a que estas son de gran importancia en las múltiples aplicaciones de la ingeniería. El sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S) es el que mejor satisface los diferentes campos de aplicación de la mecánica de suelos, por esta razón se escogió este sistema para clasificar el suelo con el que se trabajo en este proyecto.

## 2.6. ENSAYOS DE COMPACTACIÓN

El ensayo de compactación del suelo es un proceso que se basa en la aplicación de energía a un suelo suelto, tratando de eliminar espacios vacios para aumentar su densidad, su capacidad de soporte y su estabilidad. La finalidad del ensayo de compactación es el aumento de la resistencia y la disminución de la capacidad de deformación de un suelo.

Existen dos factores muy importantes en el proceso de compactación, el contenido de agua presente en el suelo antes de iniciar el proceso y la energía empleada para esto. Todo esto ayuda a que se garantice que el proceso realizado en el laboratorio simule las condiciones que pueden ser obtenidas en campo. Hay varios tipos de compactación, los cuales son usados según el tipo de material con el que se trabaje.<sup>8</sup>

Con el objetivo de buscar un ensayo de laboratorio que igualara los resultados obtenidos en campo, Proctor propone una prueba de compactación, la prueba de Proctor. Esta busca la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo ya compactado. Esta prueba determina el peso volumétrico seco máximo que puede alcanzar un material, así como la humedad óptima a la cual debe hacerse la compactación<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup>CRESPO VILALAZ, Carlos. Mecánica de suelos y cimentaciones. 5Ed. Mexico DF: Limusa Noriega.

<sup>9</sup>JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ Alfonso, Mecánica de suelos: fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I. Tercera edición. Mexico D.F: Limusa Noriega.

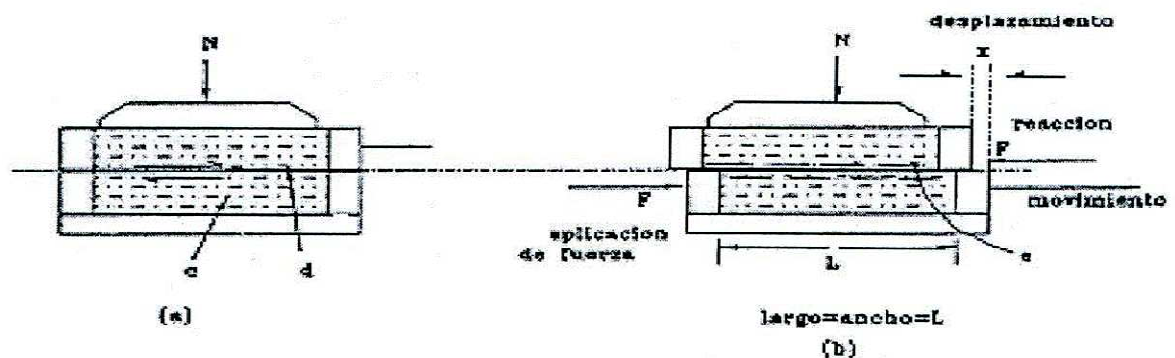
## 2.7 ENSAYOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL CORTE DE LOS SUELOS.

Los ensayos más comunes en la actualidad para determinar el esfuerzo cortante son: El ensayo de presión inconfiada, ensayo de corte directo y ensayos triaxiales.

### 2.7.1 ENSAYO DE CORTE DIRECTO

El ensayo de corte directo propone una condición idealizada de una muestra de suelo a la cual se le induce a la falla a través de un plano de localización determinada, en este plano actúan dos fuerzas o también llamados esfuerzos, los cuales son uno vertical debido a una carga aplicada externamente y uno cortante debido a la aplicación de una carga horizontal<sup>10</sup>.

**Figura 1.** Desplazamiento en el ensayo de corte directo.



Fuente. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. Página 114

#### Ventajas del ensayo de corte directo

- Es más fácil de ejecutar y entender que un ensayo triaxial especialmente si a este último se le toman medidas de presión de poros.

<sup>10</sup>BOWLES, Joseph. Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil. Segunda edición. Bogotá D.C. MC GRAW HILL.

- Por el tamaño típico de las muestras resulta rápido y fácil realizar ensayos consolidados-no-drenados y consolidados drenados, ya que el tiempo de drenaje y consolidación es bastante corto.
- Los parámetros de  $\phi$  y  $c$  obtenidos por el método de corte son casi tan confiables como los valores triaxiales.

#### Desventajas del ensayo de corte directo

- La distribución de esfuerzos no es uniforme en la superficie.
- El ensayo usa una muestra muy pequeña por lo tanto los errores de preparación son importantes.
- En este tipo de ensayos no se puede hallar la presión de poros durante el ensayo.
- Dos de los parámetros de diseño de cimentaciones es el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson, mediante este ensayo no se pueden obtener dichos parámetros.

### 3. GEOTEXTILES

#### 3.1 GEOSINTETICOS <sup>11</sup>

Es un producto en el que uno de sus componentes es a base de polímero o natural, en la mayoría de los casos se presenta en forma de filtro, lámina o estructura tridimensional y que es principalmente usada en contacto con el suelo dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil.

Los geosintéticos tienen varios campos de aplicación en la construcción como las obras viales, obras hidráulicas, sistemas de control de erosión entre otras.

Los tipos de geosintéticos más comunes utilizados en el campo de la ingeniería son los geotextiles, las geomallas, las georedes y geocompuestos derivados de la unión de las características y cualidades de cada uno.

#### 3.2 GEOTEXTILES

Se define como un material textil plano, permeable polimérico que puede ser tejido o tricotaco y no tejido y que se utiliza en contacto con el suelo para aplicaciones geotécnicas.

##### 3.2.1 CLASIFICACION DE LOS GEOTEXTILES <sup>12</sup>

###### 3.2.1.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU MÉTODO DE FABRICACIÓN:

Geotextiles tejidos: son aquellos formados por fibras entrecruzadas. Pueden ser tricotados o de calada.

Los tejidos de calada son formados por cintas de urdimbre y de trama, su resistencia a la tracción es de tipo biaxial, dicha resistencia puede ser muy elevada según las características de las cintas empleadas.

---

<sup>11</sup> Manual de Diseño. Geosinteticos. GeosinteticosPavco. Octava Edición.

<sup>12</sup> Manual de Diseño. Geosinteticos. GeosinteticosPavco. Octava Edición.

Los tricotados están fabricados con hilo entrecruzado. Su resistencia a la tracción puede ser multiaxial o biaxial según la máquina en la que son fabricados (tricotosas o ketten).

Geotextiles no tejidos: están formados por fibras superpuestas en forma laminar, están clasificados según el sistema empleado para unir las fibras, pueden ser ligados mecánicamente, ligados térmicamente, o ligados químicamente.

### 3.2.1.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU COMPOSICIÓN

En la mayoría de los casos las fibras empleadas en la fabricación de los geotextiles son de tipo sintético, sin embargo también se fabrican con fibras naturales o artificiales según su aplicación.

- Fibras naturales: pueden ser de origen vegetal y animal, estas fibras son biodegradables y se utilizan en la re vegetación de taludes.
- Fibras artificiales: son las derivadas de la celulosa. Aquí están el rayon, la viscosa y el acetato.
- Fibras sintéticas: se obtienen de polímeros sintéticos, los más empleados son el polipropileno, poliéster, polietileno, poliamida y poli acrílico.

Los geotextiles fabricados con estos polímeros son de gran durabilidad y resistentes a ataques de microorganismos y bacterias.

### 3.2.2 FUNCIONES Y CAMPOS DE APLICACIÓN<sup>13</sup>

El uso de los geotextiles tejidos y no tejidos en los diferentes campos de aplicación pueden definirse mediante las funciones que va a desempeñar, las principales funciones de estos son de separación, refuerzo, drenaje, filtro, protección e impermeabilización.

---

<sup>13</sup> Manual de Diseño. Geosinteticos. GeosinteticosPavco. Octava Edición.

#### 3.2.2.1 Función de separación

Esta función consiste en la separación de dos capas de suelo con diferentes propiedades geomecánicas, evitando permanentemente la mezcla del material.

Se usa generalmente entre la subrasante y la base de piedra en caminos.

#### 3.2.2.2 Función de refuerzo

Aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil para trabajar como complemento de las propiedades mecánicas del suelo, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos en la fase de construcción de las estructuras.

#### 3.2.2.3 Función de drenaje

Consiste en la captación y conducción de fluidos y gases en el plano del geotextil. El geotextil debe impedir el lavado o transporte de partículas finas las cuales al depositarse en él, reducen su permeabilidad horizontal. Además debe garantizar el transporte de agua sin ocasionar grandes pérdidas de presión.

#### 3.2.2.4 Función de filtro

Esta función impide el paso de determinadas partículas del terreno a través del geotextil, sin impedir el paso de fluidos o gases. En la práctica el geotextil es utilizado como filtro en muchos sistemas de drenaje.

#### 3.2.2.5 Función de protección

Previene o limita un posible deterioro en un sistema geotécnico. En los embalses impermeabilizados este sistema geotécnico se denomina pantalla impermeabilizante y está formado por el geotextil y la geomembrana.

El geotextil protege a la geomembrana de posibles perforaciones o roturas, al formar una barrera antipunzonante bajo la acción de la presión de la columna de agua durante la explotación del embalse, del paso de personal y maquinaria durante la construcción, mantenimiento, posibles reparaciones,

etc. También evita las perforaciones que podría ocasionar el crecimiento de plantas debajo de la pantalla impermeabilizante.

#### 3.2.2.6 Función de impermeabilización

Esta función se consigue mediante la impregnación del geotextil con asfalto u otro material impermeabilizante sintético.

El geotextil debe tener la resistencia y rigidez necesaria para la colocación del mismo, así como la capacidad de deformación suficiente para compensar las tensiones térmicas.

#### **4. NORMAS DE ENSAYO Y ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION PARA EL GEOTEXTIL.**

4.1 Método para la determinación de la carga de rotura y la elongación de geotextiles (método GRAB). ASTM D-4632, INV E – 901.

4.2 Método para la determinación del índice de resistencia al punzonamiento de geotextiles, geomembranas y productos relacionados. ASTM D-4833, INV E – 902.

4.3 Método para la determinación de la resistencia al rasgado trapezoidal de geotextiles. ASTM D-4533, INV E – 903.

4.4 Método para la determinación de la resistencia al estallido de geotextiles (método del diafragma hidráulico – mullen burst). ASTM D-3786, INV E – 904.

4.5 Método para la determinación de la permeabilidad al agua de los geotextiles por medio de la permitividad. ASTM D-4491, INV E – 905.

4.6 Método de ensayo estándar para determinar el espesor nominal de geotextiles y geomembranas. ASTM D-5199, INV E – 906.

4.7 Método estándar para la determinación del tamaño de abertura aparente (taa) de un geotextil. ASTM D-4751, INV E – 907.

4.8 Método de muestreo de geosintéticos para ensayos. ASTM D-4354 Y 4439, INV E – 908.

4.9 Práctica para establecer la conformidad de especificaciones de geosintéticos. ASTM D- 4759 Y 4439, INV E – 909.

4.10 método de ensayo para medir el deterioro de geotextiles a la exposición de luz ultravioleta y agua, (aparato del tipo arco xenon). ASTM D-4355, INV E – 910.

4.11 método estándar para medir la masa por unidad de área de geotextiles. ASTM D-5261, INV E – 912.

4.12 método de ensayo estándar para determinar el coeficiente de fricción suelo - geosintético y geosintético - geosintético por el método de corte directo. ASTM D 5321 – 02.

## 5. METODOLOGIA

Para la realización del presente proyecto se tuvo en cuenta la siguiente metodología de trabajo.

- Revisión bibliográfica

Se decidió investigar acerca de los trabajos de grado realizados y que presentan condiciones similares a este proyecto, también se revisaron las normas concernientes a la clasificación del suelo y algunos parámetros sobre el geotextil utilizado.

- Muestras de suelo

Basados en investigaciones anteriores y con el fin de conocer el comportamiento del ángulo de fricción de los suelos finos luego de la adición de fibras sintéticas, se decidió trabajar con una muestra de arcilla del tipo CL, de características muy similares a la usada en una investigación previa, las muestras de suelo fueron tomadas de la cantera de una ladrillera de la ciudad de Bucaramanga.

**Figura 2.** Material en estado natural.



**Figura 3.** Extracción del material.



**Figura 4.** Material antes de ser pulverizado.



- Ensayos realizados al suelo

Luego de tomar una muestra representativa del suelo, se procedió a realizar los ensayos correspondientes con el fin de conocer las propiedades mecánicas de dicho suelo, para esto se hicieron ensayos de límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, granulometría, ensayo de Proctor modificado para determinar la humedad óptima de compactación y el peso específico seco máximo del suelo, y ensayo de corte directo, todos estos ensayos se realizaron antes de adicionar las fibras sintéticas.

- Ensayos realizados al suelo con fibra

Después de obtener los resultados de los ensayos nombrados anteriormente, y conociendo las dimensiones y los porcentajes de fibra que se iban a utilizar, se realizaron los correspondientes ensayos de corte directo, para esto se hicieron 30 ensayos de corte directo para fibras de 1cm en proporciones de 0,25%, 0,50%, y 0,75% del peso total de la muestra, así mismo se hizo para fibras de longitud de 2cm y 3cm respectivamente.

- Análisis de resultados

Conociendo los resultados de las pruebas de corte directo hechas al suelo sin fibra y posteriormente al suelo al que se le adicionó la fibra en sus diferentes longitudes y porcentajes, se analizaron los valores del ángulo de fricción y cohesión obtenidos en cada una de las pruebas y se compararon unos a otros a fin de dar un valor posible de la longitud y el porcentaje al cual el suelo se comporta de mejor forma.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. RESULTADOS DE CLASIFICACION

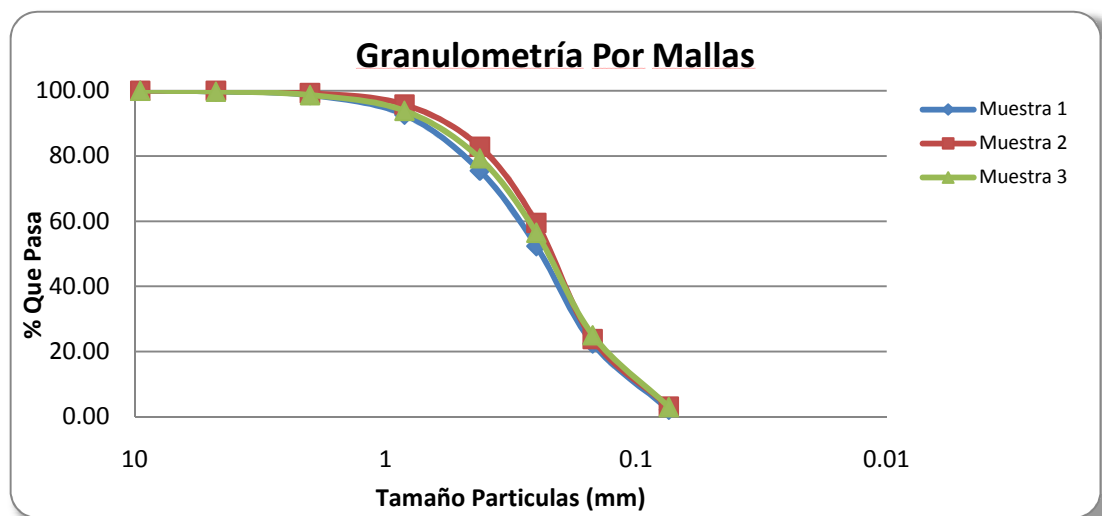
Los resultados obtenidos luego de realizar las pruebas de clasificación dentro de las cuales estaban los ensayos de granulometría, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad y límite de contracción arrojaron los siguientes valores:

Un suelo fino con un contenido de 70% de finos y un 30% de gruesos.

**Tabla 1.** Resultados de los ensayos de granulometría.

| ENSAYO | % GRAVAS | % ARENAS | % FINOS |
|--------|----------|----------|---------|
| 1      | 0,08     | 33,88    | 66,03   |
| 2      | 0        | 30,29    | 69,7    |
| 3      | 0,06     | 25,75    | 74,17   |
| PROM   | 0,05     | 29,97    | 69,97   |

**Figura 5.** Curvas granulométricas.

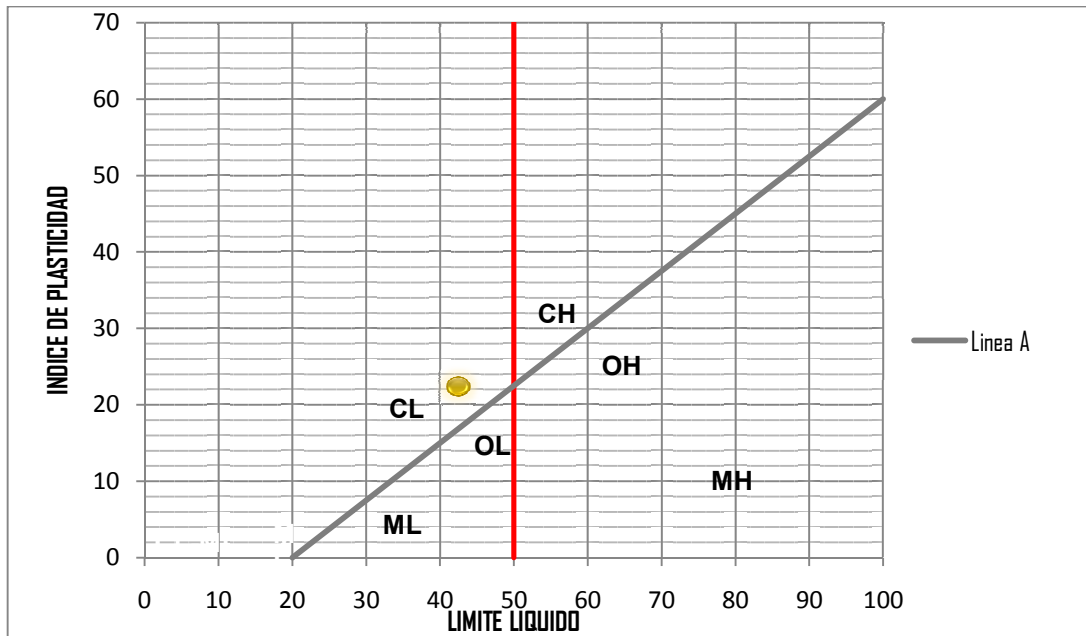


Un límite plástico de 21,18%, límite líquido de 43,66% y un índice de plasticidad de 22,48%.

**Tabla2.** Resultados de los ensayos de límite plástico y límite líquido.

| ENSAYO      | LÍMITE LÍQUIDO (%) | LÍMITE PLÁSTICO (%) | ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%) |
|-------------|--------------------|---------------------|---------------------------|
| 1           | 42,33              | 21,66               | 20,67                     |
| 2           | 45,11              | 20,78               | 24,33                     |
| 3           | 43,54              | 21,1                | 22,44                     |
| <b>PROM</b> | <b>43,66</b>       | <b>21,18</b>        | <b>22,48</b>              |

**Figura 6.** Carta de plasticidad



Se obtuvo un límite de contracción de contracción de 21,09%.

**Tabla 3.** Resultados del ensayo de límite de contracción.

| CAPSULA<br>N° | LÍMITE DE<br>CONTRACCIÓN<br>(Sw) | ÍNDICE DE<br>CONTRACCIÓN<br>(SR) |
|---------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 45            | 20,97                            | 1,85                             |
| 60            | 21,93                            | 2,14                             |
| 14            | 20,37                            | 1,63                             |
| PROM          | 21,09                            | 1,87                             |

Con estos valores y la ayuda de la carta de plasticidad de A. Casagrande se encontró que el suelo estudiado se encuentra por encima de la línea A y a la izquierda de la línea B, que corresponde a la zona de arcillas de baja a mediana plasticidad del grupo CL.

## 6.2 RESULTADOS DE COMPACTACIÓN

Para la prueba de compactación se realizaron tres ensayos de Proctor modificado con la finalidad de conocer el porcentaje de humedad óptima de compactación del suelo y el peso específico máximo seco del suelo, los valores obtenidos de esta prueba fueron los siguientes: humedad óptima de 12,67% y peso seco máximo de 1,95 Ton/m<sup>3</sup>.

**Tabla 4.** Resultados de los ensayos de compactación.

| ENSAYO | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%) |
|--------|---------------------------------|--------------|
| 1      | 1,848                           | 14,2         |
| 2      | 1,968                           | 11,2         |
| 3      | 2,029                           | 12,6         |
| PROM   | 1,95                            | 12,67        |

## 6.3 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS SIN REFUERZO.

Para las muestras de suelo sin refuerzo se realizaron 30 ensayos de corte directo. Para este ensayo se realizaba una compactación previa del suelo en los moldes de Proctor modificado con el suelo a la humedad óptima, luego se introducían las formaleas de corte en dicho molde para posteriormente ser

sacadas y llevadas a la máquina de corte directo para realizar el ensayo. Para las pruebas de corte directo se usaron esfuerzos de 0,5 Kg/cm<sup>2</sup>, 1,0 Kg/cm<sup>2</sup> y 2,0 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

Los resultados obtenidos de esta prueba fueron registrados en un cuadro resumen que se presenta a continuación.

**Tabla 5.** Cuadro resumen ensayos de corte directo. Suelo sin refuerzo.

| RESUMEN SIN FIBRA |                           |                             |                               |                                 |              |
|-------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------|
| ENSAYO            | ANGULO DE FRICCION $\Phi$ | COHESION Kg/cm <sup>2</sup> | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%) |
|                   | MAX                       | MAX                         |                               |                                 |              |
| 1                 | 40                        | 1,0051                      | 2,20                          | 1,95                            | 13,07        |
| 2                 | 32,8                      | 1,5586                      | 2,21                          | 1,94                            | 12,88        |
| 3                 | 34,8                      | 1,3807                      | 2,21                          | 1,95                            | 13,15        |
| 4                 | 29                        | 1,4647                      | 2,21                          | 1,96                            | 13,01        |
| 5                 | 34,2                      | 1,0545                      | 2,19                          | 1,94                            | 12,95        |
| 6                 | 34,5                      | 0,8174                      | 2,20                          | 1,95                            | 13,10        |
| 7                 | 35,6                      | 0,758                       | 2,17                          | 1,93                            | 12,87        |
| 8                 | 28,6                      | 1,0595                      | 2,20                          | 1,95                            | 13,02        |
| 9                 | 30,8                      | 1,178                       | 2,22                          | 1,97                            | 12,94        |
| 10                | 28,1                      | 1,4103                      | 2,22                          | 1,96                            | 13,20        |
| 11                | 32,6                      | 0,8421                      | 2,21                          | 1,96                            | 12,85        |
| 12                | 30,1                      | 1,4399                      | 2,20                          | 1,95                            | 13,12        |
| 13                | 30                        | 1,3955                      | 2,20                          | 1,94                            | 12,97        |
| 14                | 28,6                      | 1,1288                      | 2,18                          | 1,93                            | 13,13        |
| 15                | 28,2                      | 1,598                       | 2,19                          | 1,94                            | 13,01        |
| 16                | 31,2                      | 0,8718                      | 2,22                          | 1,96                            | 13,00        |
| 17                | 34,2                      | 0,9557                      | 2,21                          | 1,96                            | 12,95        |
| 18                | 30,5                      | 1,5487                      | 2,20                          | 1,95                            | 12,97        |
| 19                | 34,8                      | 1,1237                      | 2,22                          | 1,96                            | 12,99        |
| 20                | 32,7                      | 1,3065                      | 2,21                          | 1,95                            | 13,14        |
| 21                | 35,6                      | 1,2325                      | 2,19                          | 1,94                            | 12,95        |
| 22                | 30,4                      | 1,3529                      | 2,24                          | 1,98                            | 13,10        |
| 23                | 33,7                      | 1,2275                      | 2,21                          | 1,95                            | 13,02        |
| 24                | 33,3                      | 1,3065                      | 2,21                          | 1,96                            | 12,91        |
| 25                | 33,1                      | 0,931                       | 2,20                          | 1,94                            | 13,03        |
| 26                | 37,7                      | 1,2225                      | 2,19                          | 1,94                            | 12,85        |

Continuación tabla 5.

| RESUMEN SIN FIBRA |                              |                                |                               |                                    |               |
|-------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------|
| ENSAYO            | ANGULO DE FRICCION<br>$\Phi$ | COHESION<br>Kg/cm <sup>2</sup> | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%)  |
|                   | MAX                          | MAX                            |                               |                                    |               |
| 27                | 28,9                         | 1,3756                         | 2,21                          | 1,96                               | 12,82         |
| 28                | 29,8                         | 1,2225                         | 2,22                          | 1,96                               | 13,09         |
| 29                | 28,3                         | 1,3609                         | 2,22                          | 1,97                               | 12,94         |
| 30                | 24,9                         | 1,1781                         | 2,20                          | 1,94                               | 12,94         |
| <b>PROMEDIO</b>   | <b>31,90</b>                 | <b>1,210</b>                   | <b>2,206</b>                  | <b>1,951</b>                       | <b>13,000</b> |
| <b>DESVIACIÓN</b> | <b>3,30</b>                  | <b>0,23</b>                    | <b>0,01</b>                   | <b>0,01</b>                        | <b>0,10</b>   |
| <b>ERROR (%)</b>  | <b>10,34</b>                 | <b>19,13</b>                   | <b>0,65</b>                   | <b>0,64</b>                        | <b>0,76</b>   |

En la tabla 5 se puede observar que los valores promedio de resistencia al esfuerzo cortante son los siguientes: un ángulo de fricción interna promedio de 31.90°, con una desviación estándar de 3,30° y una cohesión promedio de 1,210 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 0,23 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### 6.4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO REFORZADAS CON FIBRAS DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400.

Para la realización de estos ensayos se tomaron fibras de geotextil de 1cm, 2cm y 3cm y porcentajes en peso de 0.25%, 0.50%, y 0.75%. Las fibras eran adicionadas al suelo seco, luego se adicionaba agua hasta encontrar su humedad óptima, y después se seguía el mismo procedimiento realizado en las muestras de suelo sin refuerzo.

6.4.1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE LONGITUD DE 1 cm Y PORCENTAJE DE 0,25%.

**Tabla 6.** Cuadro resumen ensayos de corte directo. Suelo reforzado con fibras de 1cm de longitud y 0,25% en peso.

| RESUMEN 0,25% 1cm |                           |                           |                               |                                 |              |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------|
| ENSAYO            | ANGULO DE FRICCION $\Phi$ | COHESION $\text{Kg/cm}^2$ | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%) |
|                   | MAX                       | MAX                       |                               |                                 |              |
| 1                 | 32,1                      | 1,3313                    | 2,19                          | 1,93                            | 13,69        |
| 2                 | 30,1                      | 1,445                     | 2,19                          | 1,94                            | 13,05        |
| 3                 | 35,4                      | 1,514                     | 2,23                          | 1,96                            | 13,77        |
| 4                 | 33,6                      | 1,4647                    | 2,22                          | 1,94                            | 14,38        |
| 5                 | 34,6                      | 1,3709                    | 2,27                          | 1,99                            | 14,01        |
| 6                 | 34                        | 1,1288                    | 2,19                          | 1,94                            | 12,92        |
| 7                 | 31,2                      | 1,603                     | 2,22                          | 1,95                            | 13,8         |
| 8                 | 32,5                      | 1,524                     | 2,18                          | 1,91                            | 13,85        |
| 9                 | 36,3                      | 1,4942                    | 2,17                          | 1,91                            | 13,22        |
| 10                | 37,9                      | 1,3114                    | 2,19                          | 1,92                            | 13,84        |
| 11                | 34,5                      | 1,361                     | 2,21                          | 1,94                            | 13,81        |
| 12                | 37,9                      | 1,6919                    | 2,22                          | 1,95                            | 13,62        |
| 13                | 31,4                      | 1,0397                    | 2,1                           | 1,85                            | 13,82        |
| 14                | 38,3                      | 1,1238                    | 2,13                          | 1,87                            | 13,58        |
| 15                | 37                        | 1,2028                    | 2,14                          | 1,9                             | 12,68        |
| 16                | 38,4                      | 1,3213                    | 2,2                           | 1,93                            | 13,66        |
| 17                | 37,4                      | 1,2572                    | 2,21                          | 1,95                            | 13,24        |
| 18                | 38                        | 1,1632                    | 2,18                          | 1,94                            | 12,6         |
| 19                | 36,3                      | 1,7364                    | 2,29                          | 2,03                            | 12,94        |
| 20                | 36                        | 1,4598                    | 2,38                          | 2,09                            | 13,45        |
| 21                | 34,9                      | 1,4499                    | 2,27                          | 2                               | 13,24        |
| 22                | 34,2                      | 1,7857                    | 2,13                          | 1,88                            | 12,91        |
| 23                | 34,7                      | 1,687                     | 2,36                          | 2,08                            | 13,37        |
| 24                | 36,5                      | 1,5585                    | 2,33                          | 2,06                            | 12,95        |
| 25                | 34,3                      | 1,7215                    | 2,28                          | 2,01                            | 13,1         |
| 26                | 33,9                      | 1,4499                    | 2,27                          | 2,01                            | 12,86        |
| 27                | 36,5                      | 1,855                     | 2,29                          | 2,03                            | 13,26        |

Continuación tabla 6

| RESUMEN 0,25% 1cm |                              |                                |                               |                                    |               |
|-------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------|
| ENSAYO            | ANGULO DE FRICCIÓN<br>$\Phi$ | COHESION<br>Kg/cm <sup>2</sup> | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%)  |
| 28                | 35,6                         | 1,6228                         | 2,22                          | 1,96                               | 13,22         |
| 29                | 34,2                         | 1,7513                         | 2,25                          | 1,99                               | 13,16         |
| 30                | 35,3                         | 1,682                          | 2,2                           | 1,94                               | 13,14         |
| <b>PROMEDIO</b>   | <b>35,1</b>                  | <b>1,470</b>                   | <b>2,224</b>                  | <b>1,960</b>                       | <b>13,371</b> |
| <b>DESVIACIÓN</b> | <b>2,20</b>                  | <b>0,22</b>                    | <b>0,07</b>                   | <b>0,06</b>                        | <b>0,43</b>   |
| <b>ERROR (%)</b>  | <b>6,25</b>                  | <b>14,83</b>                   | <b>2,97</b>                   | <b>3,01</b>                        | <b>3,22</b>   |

En la tabla 6 se puede observar que los valores promedio de resistencia al esfuerzo cortante son los siguientes: un ángulo de fricción interna promedio de 35.1°, con una desviación estándar de 2,20° y una cohesión promedio de 1,470 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 0,22 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### 6.4.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE LONGITUD DE 1 cm Y PORCENTAJE DE 0,50%.

**Tabla 7.** Cuadro resumen ensayos de corte directo. Suelo reforzado con fibras de 1cm de longitud y 0,50% en peso.

| RESUMEN 0,50% 1cm |                              |                                |                               |                                    |              |
|-------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------|
| ENSAYO            | ANGULO DE FRICCIÓN<br>$\Phi$ | COHESION<br>Kg/cm <sup>2</sup> | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%) |
|                   | MAX                          | MAX                            |                               |                                    |              |
| 1                 | 26,5                         | 2,0131                         | 2,21                          | 1,95                               | 12,92        |
| 2                 | 27,8                         | 1,6227                         | 2,23                          | 1,98                               | 12,74        |
| 3                 | 30,7                         | 1,7067                         | 2,21                          | 1,96                               | 12,95        |
| 4                 | 30,8                         | 1,7463                         | 2,23                          | 1,97                               | 13,05        |
| 5                 | 28,4                         | 2,1367                         | 2,21                          | 1,96                               | 13,03        |
| 6                 | 29,3                         | 1,8205                         | 2,23                          | 1,96                               | 13,17        |
| 7                 | 27,3                         | 1,8598                         | 2,21                          | 1,96                               | 12,99        |
| 8                 | 28                           | 1,9885                         | 2,18                          | 1,93                               | 12,97        |
| 9                 | 28,5                         | 1,9241                         | 2,17                          | 1,95                               | 13,08        |

Continuación tabla 7.

| RESUMEN 0,50% 1cm |                              |                                |                               |                                    |               |
|-------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------|
| ENSAYO            | ANGULO DE FRICCION<br>$\Phi$ | COHESION<br>Kg/cm <sup>2</sup> | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%)  |
|                   | MAX                          | MAX                            |                               |                                    |               |
| 10                | 28,6                         | 1,9489                         | 2,21                          | 1,95                               | 13,06         |
| 11                | 29,7                         | 1,7857                         | 2,24                          | 1,98                               | 13,09         |
| 12                | 26,9                         | 2,0378                         | 2,20                          | 1,95                               | 13,00         |
| 13                | 27,8                         | 1,6228                         | 2,19                          | 1,94                               | 12,94         |
| 14                | 27,3                         | 2,2355                         | 2,18                          | 1,93                               | 12,96         |
| 15                | 31,4                         | 1,3608                         | 2,23                          | 1,97                               | 13,03         |
| 16                | 21,8                         | 1,9638                         | 2,20                          | 1,95                               | 12,95         |
| 17                | 30,2                         | 1,8896                         | 2,19                          | 1,94                               | 12,81         |
| 18                | 27,3                         | 1,5191                         | 2,21                          | 1,95                               | 13,01         |
| 19                | 30,1                         | 1,5537                         | 2,22                          | 1,96                               | 12,94         |
| 20                | 30,1                         | 1,5537                         | 2,20                          | 1,95                               | 12,79         |
| 21                | 27,6                         | 1,608                          | 2,22                          | 1,97                               | 12,86         |
| 22                | 31,6                         | 1,3658                         | 2,21                          | 1,96                               | 12,69         |
| 23                | 28,8                         | 1,7612                         | 2,21                          | 1,95                               | 13,04         |
| 24                | 31,6                         | 1,9489                         | 2,18                          | 1,94                               | 12,86         |
| 25                | 26,4                         | 1,3707                         | 2,23                          | 1,97                               | 12,87         |
| 26                | 30,7                         | 2,1316                         | 2,18                          | 1,93                               | 12,98         |
| 27                | 24,8                         | 1,7117                         | 2,21                          | 1,96                               | 13,08         |
| 28                | 33,6                         | 1,7264                         | 2,20                          | 1,95                               | 13,04         |
| 29                | 28,5                         | 1,9637                         | 2,20                          | 1,95                               | 12,96         |
| 30                | 29,8                         | 1,5189                         | 2,20                          | 1,95                               | 12,96         |
| <b>PROMEDIO</b>   | <b>28,73</b>                 | <b>1,780</b>                   | <b>2,206</b>                  | <b>1,954</b>                       | <b>12,960</b> |
| <b>DESVIACIÓN</b> | <b>2,31</b>                  | <b>0,24</b>                    | <b>0,02</b>                   | <b>0,01</b>                        | <b>0,11</b>   |
| <b>ERROR (%)</b>  | <b>8,04</b>                  | <b>13,34</b>                   | <b>0,77</b>                   | <b>0,67</b>                        | <b>0,84</b>   |

En la tabla 7 se puede observar que los valores promedio de resistencia al esfuerzo cortante son los siguientes: un ángulo de fricción interna promedio de 28,73°, con una desviación estándar de 2,31° y una cohesión promedio de 1,780 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 0,24 Kg/cm<sup>2</sup>.

6.4.3 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE LONGITUD DE 1 cm Y PORCENTAJE DE 0,75%.

**Tabla 8.** Cuadro resumen ensayos de corte directo. Suelo reforzado con fibras de 1cm de longitud y 0,75% en peso.

| RESUMEN 0,75% 1cm |                           |                           |                               |                                 |              |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------|
| ENSAYO            | ANGULO DE FRICCION $\Phi$ | COHESION $\text{Kg/cm}^2$ | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%) |
|                   | MAX                       | MAX                       |                               |                                 |              |
| 1                 | 23,5                      | 1,7068                    | 2,21                          | 1,96                            | 12,92        |
| 2                 | 29,9                      | 1,9541                    | 2,22                          | 1,97                            | 12,94        |
| 3                 | 30,4                      | 2,4035                    | 2,21                          | 1,96                            | 13,01        |
| 4                 | 33,6                      | 1,2226                    | 2,20                          | 1,95                            | 12,84        |
| 5                 | 27,4                      | 1,8995                    | 2,20                          | 1,95                            | 13,14        |
| 6                 | 25,2                      | 1,3658                    | 2,19                          | 1,94                            | 13,02        |
| 7                 | 25,3                      | 1,8797                    | 2,19                          | 1,94                            | 12,88        |
| 8                 | 24,7                      | 1,7561                    | 2,21                          | 1,95                            | 13,29        |
| 9                 | 30,8                      | 1,5586                    | 2,22                          | 1,96                            | 12,97        |
| 10                | 28,5                      | 1,2424                    | 2,19                          | 1,93                            | 13,00        |
| 11                | 25,9                      | 1,2719                    | 2,20                          | 1,95                            | 12,92        |
| 12                | 30,9                      | 1,776                     | 2,21                          | 1,96                            | 12,89        |
| 13                | 28,4                      | 1,978                     | 2,20                          | 1,95                            | 12,95        |
| 14                | 26,6                      | 1,2571                    | 2,21                          | 1,96                            | 12,76        |
| 15                | 28,2                      | 1,4103                    | 2,20                          | 1,95                            | 12,85        |
| 16                | 27,7                      | 1,6673                    | 2,21                          | 1,96                            | 13,10        |
| 17                | 23,9                      | 1,8747                    | 2,21                          | 1,96                            | 12,82        |
| 18                | 27,6                      | 1,7859                    | 2,21                          | 1,95                            | 13,12        |
| 19                | 24                        | 2,0576                    | 2,22                          | 1,97                            | 12,89        |
| 20                | 25,2                      | 1,7857                    | 2,18                          | 1,93                            | 12,90        |
| 21                | 26,7                      | 1,4251                    | 2,22                          | 1,97                            | 12,94        |
| 22                | 27,5                      | 1,8203                    | 2,19                          | 1,94                            | 12,81        |
| 23                | 23,6                      | 1,7907                    | 2,21                          | 1,96                            | 12,69        |
| 24                | 26,3                      | 1,6277                    | 2,19                          | 1,95                            | 12,79        |
| 25                | 24,6                      | 1,7711                    | 2,21                          | 1,96                            | 13,03        |
| 26                | 27,6                      | 1,5289                    | 2,19                          | 1,95                            | 12,67        |
| 27                | 27,3                      | 1,6624                    | 2,20                          | 1,95                            | 12,76        |
| 28                | 25,1                      | 1,9736                    | 2,20                          | 1,95                            | 12,76        |

Continuación tabla 8.

| RESUMEN 0,75% 1cm |                           |                           |                               |                                 |               |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------|
| ENSAYO            | ANGULO DE FRICCION $\Phi$ | COHESION $\text{Kg/cm}^2$ | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%)  |
|                   | MAX                       | MAX                       |                               |                                 |               |
| 29                | 26,7                      | 1,2521                    | 2,21                          | 1,95                            | 12,84         |
| 30                | 28,2                      | 1,4695                    | 2,21                          | 1,96                            | 12,96         |
| <b>PROMEDIO</b>   | <b>27,04</b>              | <b>1,673</b>              | <b>2,204</b>                  | <b>1,952</b>                    | <b>12,916</b> |
| <b>DESVIACIÓN</b> | <b>2,42</b>               | <b>0,29</b>               | <b>0,01</b>                   | <b>0,01</b>                     | <b>0,14</b>   |
| <b>ERROR(%)</b>   | <b>8,96</b>               | <b>17,09</b>              | <b>0,51</b>                   | <b>0,50</b>                     | <b>1,07</b>   |

En la tabla 8 se puede observar que los valores promedio de resistencia al esfuerzo cortante son los siguientes: un ángulo de fricción interna promedio de 27,04°, con una desviación estándar de 2,42° y una cohesión promedio de 1,673 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 0,29 Kg/cm<sup>2</sup>.

6.4.4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE LONGITUD DE 2 cm Y PORCENTAJE DE 0,25%.

**Tabla 9.** Cuadro resumen ensayos de corte directo. Suelo reforzado con fibras de 2cm de longitud y 0,25% en peso.

| RESUMEN 0,25% 2cm |                           |                           |                               |                                 |              |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------|
| ENSAYO            | ANGULO DE FRICCION $\Phi$ | COHESION $\text{Kg/cm}^2$ | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%) |
|                   | MAX                       | MAX                       |                               |                                 |              |
| 1                 | 42,5                      | 1,5042                    | 2,26                          | 1,98                            | 14,2         |
| 2                 | 41,6                      | 1,4942                    | 2,27                          | 1,99                            | 14,4         |
| 3                 | 47,7                      | 1,509                     | 2,33                          | 2,03                            | 14,49        |
| 4                 | 41,9                      | 1,6474                    | 2,24                          | 1,96                            | 14,23        |
| 5                 | 43,8                      | 2,3392                    | 2,31                          | 2,04                            | 13,52        |
| 6                 | 40,3                      | 1,7017                    | 2,26                          | 1,99                            | 13,43        |
| 7                 | 47,8                      | 1,5388                    | 2,3                           | 2,02                            | 13,88        |
| 8                 | 44,1                      | 0,6099                    | 2,26                          | 1,98                            | 13,93        |
| 9                 | 50                        | 1,0595                    | 2,19                          | 1,94                            | 13,11        |
| 10                | 44,7                      | 1,3806                    | 2,31                          | 2,03                            | 13,45        |

Continuación tabla 9.

| RESUMEN 0,25% 2cm |                           |                           |                               |                                 |               |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------|
| ENSAYO            | ANGULO DE FRICCION $\Phi$ | COHESION $\text{Kg/cm}^2$ | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%)  |
|                   | MAX                       | MAX                       |                               |                                 |               |
| 11                | 46,7                      | 1,4597                    | 2,29                          | 2                               | 14,36         |
| 12                | 45,8                      | 1,6624                    | 2,28                          | 1,99                            | 14,12         |
| 13                | 40,4                      | 1,3164                    | 2,17                          | 1,93                            | 12,64         |
| 14                | 41,2                      | 0,763                     | 2,21                          | 1,95                            | 12,89         |
| 15                | 41,2                      | 1,445                     | 2,28                          | 2,03                            | 12,33         |
| 16                | 48,6                      | 1,0496                    | 2,31                          | 2,04                            | 13,22         |
| 17                | 40,8                      | 1,1386                    | 2,27                          | 2,02                            | 12,37         |
| 18                | 42,8                      | 1,4054                    | 2,33                          | 2,07                            | 12,59         |
| 19                | 44,2                      | 1,094                     | 2,22                          | 1,96                            | 13,06         |
| 20                | 41,5                      | 1,0793                    | 2,21                          | 1,94                            | 14,25         |
| 21                | 40,8                      | 1,8253                    | 2,24                          | 1,97                            | 13,74         |
| 22                | 45,2                      | 1,4646                    | 2,25                          | 1,99                            | 12,98         |
| 23                | 45,9                      | 1,5388                    | 2,24                          | 1,98                            | 13,16         |
| 24                | 42,1                      | 1,7562                    | 2,24                          | 1,98                            | 13,26         |
| 25                | 42,1                      | 1,5733                    | 2,24                          | 1,97                            | 13,57         |
| 26                | 42,2                      | 1,5734                    | 2,22                          | 1,96                            | 13,3          |
| 27                | 43                        | 1,509                     | 2,22                          | 1,96                            | 13,05         |
| 28                | 43,1                      | 1,6722                    | 2,22                          | 1,97                            | 12,73         |
| 29                | 43,4                      | 1,0003                    | 2,21                          | 1,96                            | 12,98         |
| 30                | 42                        | 1,2226                    | 2,2                           | 1,95                            | 13,02         |
| <b>PROMEDIO</b>   | <b>43,58</b>              | <b>1,411</b>              | <b>2,253</b>                  | <b>1,986</b>                    | <b>13,409</b> |
| <b>DESVIACIÓN</b> | <b>2,60</b>               | <b>0,34</b>               | <b>0,04</b>                   | <b>0,03</b>                     | <b>0,63</b>   |
| <b>ERROR(%)</b>   | <b>5,96</b>               | <b>24,14</b>              | <b>1,88</b>                   | <b>1,76</b>                     | <b>4,68</b>   |

En la tabla 9 se puede observar que los valores promedio de resistencia al esfuerzo cortante son los siguientes: un ángulo de fricción interna promedio de 43,58°, con una desviación estándar de 2,60° y una cohesión promedio de 1,411 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 0,34 Kg/cm<sup>2</sup>.

6.4.5 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE LONGITUD DE 2 cm Y PORCENTAJE DE 0,50%.

**Tabla 10.** Cuadro resumen ensayos de corte directo. Suelo reforzado con fibras de 2cm de longitud y 0,50% en peso.

| RESUMEN 0,50% 2 CM |                           |                           |                               |                                 |              |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------|
| ENSAYO             | ANGULO DE FRICCION $\Phi$ | COHESION $\text{Kg/cm}^2$ | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%) |
|                    | MAX                       | MAX                       |                               |                                 |              |
| 1                  | 38,9                      | 1,5387                    | 2,23                          | 1,97                            | 13,10        |
| 2                  | 35,2                      | 1,1583                    | 2,21                          | 1,96                            | 12,86        |
| 3                  | 38                        | 1,2078                    | 2,22                          | 1,97                            | 12,88        |
| 4                  | 35,2                      | 1,0841                    | 2,20                          | 1,96                            | 12,90        |
| 5                  | 35,8                      | 1,3313                    | 2,21                          | 1,96                            | 12,89        |
| 6                  | 30,3                      | 1,4301                    | 2,22                          | 1,96                            | 12,88        |
| 7                  | 38,8                      | 1,4647                    | 2,21                          | 1,95                            | 13,10        |
| 8                  | 38,1                      | 1,4251                    | 2,21                          | 1,96                            | 13,10        |
| 9                  | 31,4                      | 1,5537                    | 2,22                          | 1,96                            | 12,94        |
| 10                 | 42,9                      | 1,3115                    | 2,21                          | 1,96                            | 12,94        |
| 11                 | 36,9                      | 1,5881                    | 2,22                          | 1,97                            | 12,91        |
| 12                 | 39,1                      | 1,3511                    | 2,22                          | 1,96                            | 13,08        |
| 13                 | 38,3                      | 1,5191                    | 2,21                          | 1,96                            | 12,82        |
| 14                 | 37,5                      | 1,272                     | 2,22                          | 1,96                            | 13,03        |
| 15                 | 39,6                      | 1,1879                    | 2,21                          | 1,96                            | 12,96        |
| 16                 | 40,3                      | 0,7679                    | 2,23                          | 1,97                            | 12,99        |
| 17                 | 38,7                      | 1,0348                    | 2,22                          | 1,97                            | 12,94        |
| 18                 | 40,9                      | 0,9015                    | 2,20                          | 1,94                            | 12,94        |
| 19                 | 39,3                      | 1,1978                    | 2,23                          | 1,97                            | 13,04        |
| 20                 | 40,3                      | 1,0447                    | 2,21                          | 1,95                            | 13,01        |
| 21                 | 38,7                      | 1,3609                    | 2,21                          | 1,95                            | 13,11        |
| 22                 | 36,6                      | 1,7463                    | 2,21                          | 1,95                            | 13,07        |
| 23                 | 39,1                      | 1,1535                    | 2,20                          | 1,94                            | 13,05        |
| 24                 | 38,5                      | 1,3757                    | 2,20                          | 1,95                            | 12,82        |
| 25                 | 38,3                      | 1,2671                    | 2,18                          | 1,93                            | 12,87        |
| 26                 | 40,7                      | 1,2473                    | 2,21                          | 1,95                            | 12,93        |
| 27                 | 40,9                      | 1,4745                    | 2,21                          | 1,95                            | 12,91        |
| 28                 | 42,8                      | 1,2127                    | 2,23                          | 1,97                            | 13,14        |

Continuación tabla 10.

| RESUMEN 0,50% 2 CM |                           |                           |                               |                                 |               |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------|
| ENSAYO             | ANGULO DE FRICCION $\Phi$ | COHESION $\text{Kg/cm}^2$ | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%)  |
|                    | MAX                       | MAX                       |                               |                                 |               |
| 29                 | 41,6                      | 1,0891                    | 2,21                          | 1,96                            | 13,02         |
| 30                 | 36,1                      | 1,2027                    | 2,22                          | 1,96                            | 13,02         |
| <b>PROMEDIO</b>    | <b>38,29</b>              | <b>1,283</b>              | <b>2,212</b>                  | <b>1,957</b>                    | <b>12,975</b> |
| <b>DESVIACIÓN</b>  | <b>2,83</b>               | <b>0,21</b>               | <b>0,01</b>                   | <b>0,01</b>                     | <b>0,09</b>   |
| <b>ERROR(%)</b>    | <b>7,39</b>               | <b>16,56</b>              | <b>0,45</b>                   | <b>0,45</b>                     | <b>0,71</b>   |

En la tabla 10 se puede observar que los valores promedio de resistencia al esfuerzo cortante son los siguientes: un ángulo de fricción interna promedio de 38,29°, con una desviación estándar de 2,83° y una cohesión promedio de 1,283 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 0,21 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### 6.4.6 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE LONGITUD DE 2 cm Y PORCENTAJE DE 0,75%.

**Tabla 11.** Cuadro resumen ensayos de corte directo. Suelo reforzado con fibras de 2cm de longitud y 0,75% en peso.

| RESUMEN 0,75% 2cm |                           |                           |                               |                                 |              |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------|
| ENSAYO            | ANGULO DE FRICCION $\Phi$ | COHESION $\text{Kg/cm}^2$ | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%) |
|                   | MAX                       | MAX                       |                               |                                 |              |
| 1                 | 35,6                      | 1,8895                    | 2,22                          | 1,97                            | 12,44        |
| 2                 | 36                        | 1,4944                    | 2,14                          | 1,9                             | 12,55        |
| 3                 | 35,4                      | 1,7315                    | 2,16                          | 1,92                            | 12,47        |
| 4                 | 30,4                      | 1,1386                    | 2,14                          | 1,9                             | 12,49        |
| 5                 | 30,1                      | 1,86                      | 2,22                          | 1,97                            | 12,63        |
| 6                 | 29,9                      | 1,5388                    | 2,18                          | 1,92                            | 13,44        |
| 7                 | 33,2                      | 1,4003                    | 2,15                          | 1,9                             | 13,06        |
| 8                 | 35,9                      | 1,4746                    | 2,2                           | 1,95                            | 12,61        |

Continuación tabla 11.

| RESUMEN 0,75% 2cm |                           |                           |                               |                                 |               |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------|
| ENSAYO            | ANGULO DE FRICCION $\Phi$ | COHESION $\text{Kg/cm}^2$ | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%)  |
|                   | MAX                       | MAX                       |                               |                                 |               |
| 9                 | 33,4                      | 1,514                     | 2,19                          | 1,94                            | 13,13         |
| 10                | 36,5                      | 1,3807                    | 2,19                          | 1,93                            | 13,49         |
| 11                | 34,7                      | 1,4596                    | 2,22                          | 1,96                            | 13,21         |
| 12                | 29,6                      | 1,5635                    | 2,16                          | 1,9                             | 13,56         |
| 13                | 32,1                      | 1,6563                    | 2,16                          | 1,9                             | 13,44         |
| 14                | 29,3                      | 1,178                     | 2,15                          | 1,9                             | 13,39         |
| 15                | 30,2                      | 1,4794                    | 2,17                          | 1,92                            | 12,7          |
| 16                | 37,7                      | 1,1237                    | 2,2                           | 1,95                            | 12,93         |
| 17                | 35,6                      | 1,3312                    | 2,22                          | 1,97                            | 12,72         |
| 18                | 31,8                      | 1,6574                    | 2,12                          | 1,87                            | 12,99         |
| 19                | 29,6                      | 1,6574                    | 2,08                          | 1,84                            | 12,95         |
| 20                | 33,3                      | 1,677                     | 2,15                          | 1,91                            | 12,81         |
| 21                | 34,1                      | 1,6722                    | 2,19                          | 1,94                            | 12,77         |
| 22                | 32,2                      | 1,8155                    | 2,19                          | 1,94                            | 12,9          |
| 23                | 32,2                      | 1,7018                    | 2,22                          | 1,96                            | 12,89         |
| 24                | 35,2                      | 1,7118                    | 2,15                          | 1,91                            | 12,76         |
| 25                | 30,2                      | 1,5338                    | 2,2                           | 1,94                            | 13,01         |
| 26                | 32,9                      | 1,766                     | 2,2                           | 1,95                            | 13,02         |
| 27                | 30,5                      | 1,855                     | 2,18                          | 1,93                            | 13,06         |
| 28                | 30,5                      | 1,5634                    | 2,16                          | 1,91                            | 13,09         |
| 29                | 33                        | 1,687                     | 2,2                           | 1,95                            | 12,93         |
| 30                | 32,5                      | 1,178                     | 2,17                          | 1,92                            | 13,07         |
| <b>PROMEDIO</b>   | <b>32,79</b>              | <b>1,556</b>              | <b>2,176</b>                  | <b>1,926</b>                    | <b>12,950</b> |
| <b>DESVIACIÓN</b> | <b>2,44</b>               | <b>0,21</b>               | <b>0,03</b>                   | <b>0,03</b>                     | <b>0,31</b>   |
| <b>ERROR (%)</b>  | <b>7,44</b>               | <b>13,80</b>              | <b>1,53</b>                   | <b>1,58</b>                     | <b>2,40</b>   |

En la tabla 11 se puede observar que los valores promedio de resistencia al esfuerzo cortante son los siguientes: un ángulo de fricción interna promedio de 32,79°, con una desviación estándar de 2,44° y una cohesión promedio de 1,556 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 0,21 Kg/cm<sup>2</sup>.

6.4.7 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE LONGITUD DE 3 cm Y PORCENTAJE DE 0,25%.

**Tabla 12.** Cuadro resumen ensayos de corte directo. Suelo reforzado con fibras de 3cm de longitud y 0,25% en peso.

| RESUMEN 0,25% 3 CM |                           |                           |                               |                                 |              |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------|
| ENSAYO             | ANGULO DE FRICCION $\Phi$ | COHESION $\text{Kg/cm}^2$ | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%) |
|                    | MAX                       | MAX                       |                               |                                 |              |
| 1                  | 27                        | 1,2373                    | 2,21                          | 1,95                            | 13,03        |
| 2                  | 26,4                      | 1,8154                    | 2,21                          | 1,96                            | 13,02        |
| 3                  | 31,3                      | 1,7076                    | 2,22                          | 1,96                            | 13,02        |
| 4                  | 26,9                      | 1,5337                    | 2,20                          | 1,94                            | 13,00        |
| 5                  | 20,7                      | 1,6327                    | 2,21                          | 1,95                            | 12,91        |
| 6                  | 29,5                      | 1,4547                    | 2,20                          | 1,95                            | 12,77        |
| 7                  | 28,1                      | 1,4054                    | 2,21                          | 1,96                            | 13,10        |
| 8                  | 31,6                      | 1,7907                    | 2,20                          | 1,95                            | 13,07        |
| 9                  | 23,6                      | 2,0229                    | 2,23                          | 1,98                            | 12,94        |
| 10                 | 24,6                      | 1,2967                    | 2,21                          | 1,96                            | 13,01        |
| 11                 | 30,2                      | 1,1731                    | 2,19                          | 1,93                            | 12,95        |
| 12                 | 31,9                      | 1,1189                    | 2,19                          | 1,94                            | 12,93        |
| 13                 | 29,1                      | 1,8351                    | 2,20                          | 1,95                            | 12,94        |
| 14                 | 27,7                      | 1,1337                    | 2,20                          | 1,95                            | 12,70        |
| 15                 | 31,5                      | 1,4103                    | 2,23                          | 1,98                            | 12,75        |
| 16                 | 27,8                      | 1,2473                    | 2,20                          | 1,95                            | 12,97        |
| 17                 | 26,2                      | 1,3411                    | 2,21                          | 1,96                            | 12,90        |
| 18                 | 23,1                      | 1,7561                    | 2,19                          | 1,94                            | 12,89        |
| 19                 | 29,1                      | 1,0051                    | 2,20                          | 1,95                            | 13,13        |
| 20                 | 26,1                      | 1,6821                    | 2,22                          | 1,96                            | 12,94        |
| 21                 | 26,1                      | 1,7116                    | 2,22                          | 1,97                            | 12,96        |
| 22                 | 25,2                      | 1,0594                    | 2,20                          | 1,95                            | 12,95        |
| 23                 | 22,5                      | 1,2078                    | 2,20                          | 1,95                            | 12,94        |
| 24                 | 26,1                      | 1,7612                    | 2,20                          | 1,95                            | 12,82        |
| 25                 | 24,8                      | 1,9341                    | 2,20                          | 1,95                            | 13,06        |
| 26                 | 27,6                      | 1,5189                    | 2,22                          | 1,96                            | 12,89        |
| 27                 | 28,6                      | 1,7315                    | 2,21                          | 1,96                            | 13,09        |
| 28                 | 27,8                      | 1,44                      | 2,16                          | 1,91                            | 12,93        |

Continuación tabla 12.

| RESUMEN 0,25% 3 CM |                           |                           |                  |                    |               |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|--------------------|---------------|
| ENSAYO             | ANGULO DE FRICCION $\Phi$ | COHESION $\text{Kg/cm}^2$ | $\gamma$ (g/cm3) | $\gamma_d$ (g/cm3) | $\omega$ (%)  |
|                    | MAX                       | MAX                       |                  |                    |               |
| 29                 | 31                        | 1,6227                    | 2,20             | 1,95               | 12,81         |
| 30                 | 27,3                      | 1,2177                    | 2,19             | 1,94               | 12,97         |
| <b>PROMEDIO</b>    | <b>27,31</b>              | <b>1,493</b>              | <b>2,205</b>     | <b>1,952</b>       | <b>12,947</b> |
| <b>DESVIACIÓN</b>  | <b>2,83</b>               | <b>0,28</b>               | <b>0,01</b>      | <b>0,01</b>        | <b>0,10</b>   |
| <b>ERROR (%)</b>   | <b>10,36</b>              | <b>18,91</b>              | <b>0,63</b>      | <b>0,67</b>        | <b>0,80</b>   |

En la tabla 12 se puede observar que los valores promedio de resistencia al esfuerzo cortante son los siguientes: un ángulo de fricción interna promedio de  $27,31^\circ$ , con una desviación estándar de  $2,83^\circ$  y una cohesión promedio de  $1,493 \text{ Kg/cm}^2$ , con una desviación estándar de  $0,28 \text{ Kg/cm}^2$ .

6.4.8 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE LONGITUD DE 3 cm Y PORCENTAJE DE 0,50%.

**Tabla 13.** Cuadro resumen ensayos de corte directo. Suelo reforzado con fibras de 3cm de longitud y 0,50% en peso.

| RESUMEN 0,50% 3cm |                           |                           |                  |                    |              |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|--------------------|--------------|
| ENSAYO            | ANGULO DE FRICCION $\Phi$ | COHESION $\text{Kg/cm}^2$ | $\gamma$ (g/cm3) | $\gamma_d$ (g/cm3) | $\omega$ (%) |
|                   | MAX                       | MAX                       |                  |                    |              |
| 1                 | 26,1                      | 1,0792                    | 2,14             | 1,89               | 13,06        |
| 2                 | 27,8                      | 1,0003                    | 2,18             | 1,93               | 13,03        |
| 3                 | 26,7                      | 1,6377                    | 2,22             | 1,97               | 13,04        |
| 4                 | 27,8                      | 1,4745                    | 2,18             | 1,92               | 13,05        |
| 5                 | 26,8                      | 1,8845                    | 2,21             | 1,95               | 13,15        |
| 6                 | 28,1                      | 1,7562                    | 2,19             | 1,94               | 13,12        |
| 7                 | 26,1                      | 1,4152                    | 2,16             | 1,91               | 13,02        |
| 8                 | 26,9                      | 1,4153                    | 2,1              | 1,85               | 13,01        |

Continuación tabla 13.

| RESUMEN 0,50% 3cm |                           |                           |                               |                                 |               |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------|
| ENSAYO            | ANGULO DE FRICCION $\Phi$ | COHESION $\text{Kg/cm}^2$ | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%)  |
|                   | MAX                       | MAX                       |                               |                                 |               |
| 9                 | 26,9                      | 1,603                     | 2,16                          | 1,91                            | 13,06         |
| 10                | 26,9                      | 1,771                     | 2,19                          | 1,94                            | 13,07         |
| 11                | 26,9                      | 1,9685                    | 2,19                          | 1,94                            | 12,97         |
| 12                | 25,3                      | 1,5733                    | 2,23                          | 1,98                            | 12,95         |
| 13                | 25,7                      | 1,603                     | 2,22                          | 1,97                            | 13,02         |
| 14                | 27,2                      | 1,3213                    | 2,17                          | 1,92                            | 12,98         |
| 15                | 26,7                      | 1,435                     | 2,13                          | 1,89                            | 12,96         |
| 16                | 26,9                      | 1,6327                    | 2,2                           | 1,94                            | 13,05         |
| 17                | 25,9                      | 1,4993                    | 2,18                          | 1,93                            | 13,09         |
| 18                | 21,8                      | 1,9093                    | 2,22                          | 1,97                            | 13,06         |
| 19                | 24,6                      | 1,7315                    | 2,29                          | 2,03                            | 12,97         |
| 20                | 25,3                      | 1,9192                    | 2,22                          | 1,97                            | 12,98         |
| 21                | 22,3                      | 1,6375                    | 2,2                           | 1,95                            | 13,03         |
| 22                | 25,4                      | 1,44                      | 2,18                          | 1,93                            | 13,05         |
| 23                | 22,2                      | 1,692                     | 2,15                          | 1,9                             | 13,06         |
| 24                | 24,2                      | 1,3363                    | 2,19                          | 1,94                            | 13,09         |
| 25                | 21,9                      | 1,509                     | 2,22                          | 1,97                            | 13,02         |
| 26                | 21,6                      | 1,7067                    | 2,16                          | 1,91                            | 12,95         |
| 27                | 23,7                      | 1,5338                    | 2,19                          | 1,94                            | 12,99         |
| 28                | 22,1                      | 1,4746                    | 2,28                          | 2,01                            | 13,17         |
| 29                | 22,5                      | 1,509                     | 2,3                           | 2,03                            | 13,26         |
| 30                | 23,8                      | 1,7067                    | 2,27                          | 2                               | 13,32         |
| <b>PROMEDIO</b>   | <b>25,20</b>              | <b>1,573</b>              | <b>2,197</b>                  | <b>1,944</b>                    | <b>13,053</b> |
| <b>DESVIACIÓN</b> | <b>2,08</b>               | <b>0,22</b>               | <b>0,05</b>                   | <b>0,04</b>                     | <b>0,09</b>   |
| <b>ERROR (%)</b>  | <b>8,24</b>               | <b>14,27</b>              | <b>2,09</b>                   | <b>2,11</b>                     | <b>0,65</b>   |

En la tabla 13 se puede observar que los valores promedio de resistencia al esfuerzo cortante son los siguientes: un ángulo de fricción interna promedio de 25,20°, con una desviación estándar de 2,08° y una cohesión promedio de 1,573 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 0,22 Kg/cm<sup>2</sup>.

6.4.9 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS DE SUELO CON REFUERZOS DE LONGITUD DE 3 cm Y PORCENTAJE DE 0,75%.

**Tabla 14.** Cuadro resumen ensayos de corte directo. Suelo reforzado con fibras de 3cm de longitud y 0,75% en peso.

| RESUMEN 0,75% 3cm |                           |                           |                               |                                 |              |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------|
| ENSAYO            | ANGULO DE FRICCION $\Phi$ | COHESION $\text{Kg/cm}^2$ | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%) |
|                   | MAX                       | MAX                       |                               |                                 |              |
| 1                 | 21,6                      | 1,2720                    | 2,09                          | 1,85                            | 13,02        |
| 2                 | 28,9                      | 1,1089                    | 2,11                          | 1,87                            | 12,95        |
| 3                 | 28,3                      | 1,2028                    | 2,12                          | 1,87                            | 12,95        |
| 4                 | 25,8                      | 1,1979                    | 2,21                          | 1,96                            | 12,82        |
| 5                 | 26,5                      | 1,2078                    | 2,23                          | 1,96                            | 13,80        |
| 6                 | 24,0                      | 1,5683                    | 2,22                          | 1,96                            | 13,26        |
| 7                 | 25,9                      | 1,3114                    | 2,28                          | 2,01                            | 13,57        |
| 8                 | 21,8                      | 1,5882                    | 2,27                          | 2,00                            | 13,57        |
| 9                 | 22,4                      | 1,5288                    | 2,24                          | 1,98                            | 13,13        |
| 10                | 20,9                      | 1,4400                    | 2,27                          | 2,00                            | 13,23        |
| 11                | 21,4                      | 1,3855                    | 2,17                          | 1,92                            | 13,03        |
| 12                | 25,6                      | 1,2572                    | 2,22                          | 1,96                            | 13,04        |
| 13                | 25,6                      | 1,3412                    | 2,22                          | 1,96                            | 12,96        |
| 14                | 24,0                      | 1,4350                    | 2,16                          | 1,91                            | 13,19        |
| 15                | 24,9                      | 1,5733                    | 2,18                          | 1,93                            | 12,99        |
| 16                | 24,6                      | 1,8450                    | 2,21                          | 1,95                            | 13,00        |
| 17                | 21,4                      | 1,7167                    | 2,14                          | 1,90                            | 12,99        |
| 18                | 24,3                      | 1,6772                    | 2,18                          | 1,93                            | 12,97        |
| 19                | 23,8                      | 1,5585                    | 2,20                          | 1,95                            | 12,99        |
| 20                | 24,5                      | 1,4055                    | 2,21                          | 1,91                            | 12,88        |
| 21                | 23,8                      | 1,3524                    | 2,25                          | 1,96                            | 12,96        |
| 22                | 22,9                      | 1,2946                    | 2,15                          | 1,95                            | 12,92        |
| 23                | 24,5                      | 1,6822                    | 2,18                          | 1,94                            | 12,93        |
| 24                | 23,8                      | 1,7502                    | 2,23                          | 1,93                            | 12,94        |
| 25                | 24                        | 1,2635                    | 2,24                          | 1,9                             | 12,90        |
| 26                | 24,6                      | 1,4006                    | 2,22                          | 1,92                            | 12,50        |
| 27                | 23,9                      | 1,5026                    | 2,18                          | 1,89                            | 12,40        |
| 28                | 22,9                      | 1,468                     | 2,19                          | 1,88                            | 12,70        |

Continuación tabla 14.

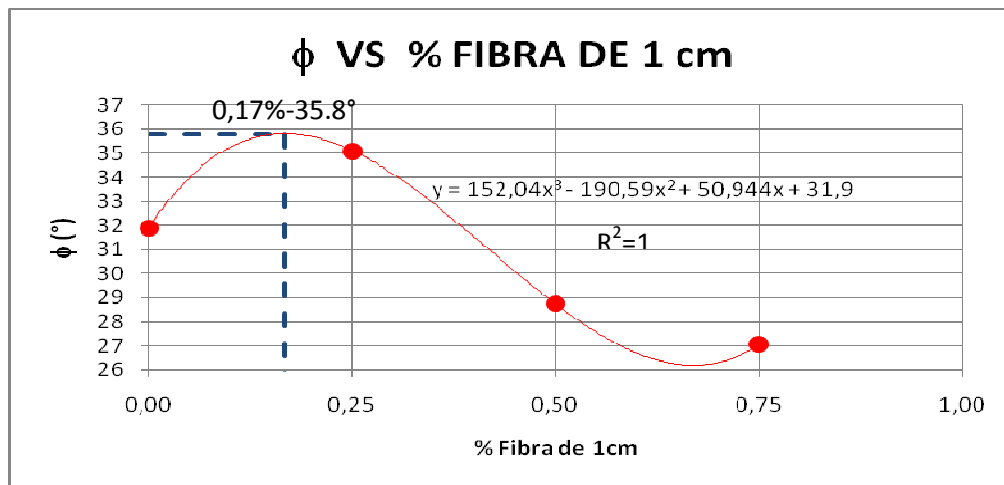
| RESUMEN 0,75% 3cm |                           |                           |                               |                                 |               |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------|
| ENSAYO            | ANGULO DE FRICCIÓN $\Phi$ | COHESION $\text{Kg/cm}^2$ | $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%)  |
|                   | MAX                       | MAX                       |                               |                                 |               |
| 29                | 23,5                      | 1,2601                    | 2,17                          | 1,91                            | 12,60         |
| 30                | 23,8                      | 1,4562                    | 2,19                          | 1,9                             | 12,40         |
| <b>PROMEDIO</b>   | <b>24,13</b>              | <b>1,435</b>              | <b>2,198</b>                  | <b>1,932</b>                    | <b>12,986</b> |
| <b>DESVIACIÓN</b> | <b>1,87</b>               | <b>0,19</b>               | <b>0,05</b>                   | <b>0,04</b>                     | <b>0,31</b>   |
| <b>ERROR(%)</b>   | <b>7,75</b>               | <b>12,93</b>              | <b>2,13</b>                   | <b>2,09</b>                     | <b>2,38</b>   |

En la tabla 14 se puede observar que los valores promedio de resistencia al esfuerzo cortante son los siguientes: un ángulo de fricción interna promedio de 24,13°, con una desviación estándar de 1,87° y una cohesión promedio de 1,435 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 0,19 Kg/cm<sup>2</sup>.

## 7. ANALISIS DE RESULTADOS

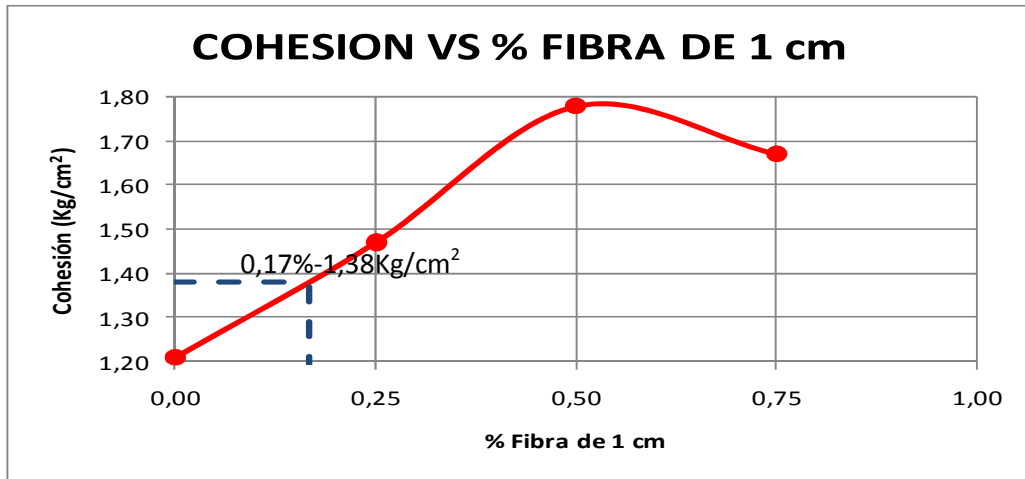
Luego de realizar todos los ensayos de corte directo en las muestras de suelo reforzadas y no reforzadas y que fueron compactadas con la humedad optima, se dibujaron las curvas de ángulo de fricción vs porcentaje de fibra y de cohesión vs porcentaje de fibra para las longitudes de 1, 2 y 3 cm a fin de conocer y estudiar sus tendencias.

**Figura 7.** Ángulo de fricción Vs porcentaje de fibra de 1cm.



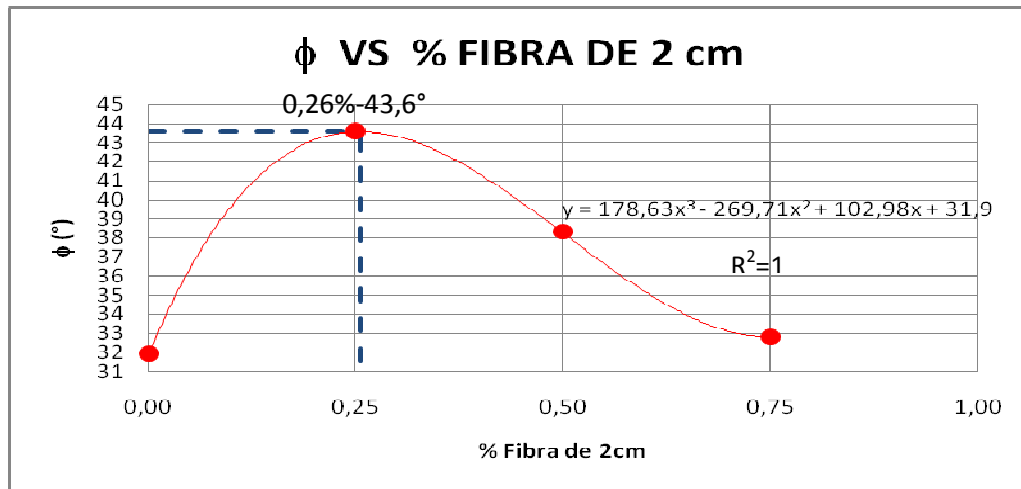
En la grafica anterior se puede apreciar que para una longitud de 1cm de fibra de geotextil tejido T- 2400 el máximo ángulo de fricción interna es de  $35.8^\circ$ , el cual se alcanza con un porcentaje de fibra de  $0.17\%$ .

**Figura 8.** Cohesión Vs porcentaje de fibra de 1 cm



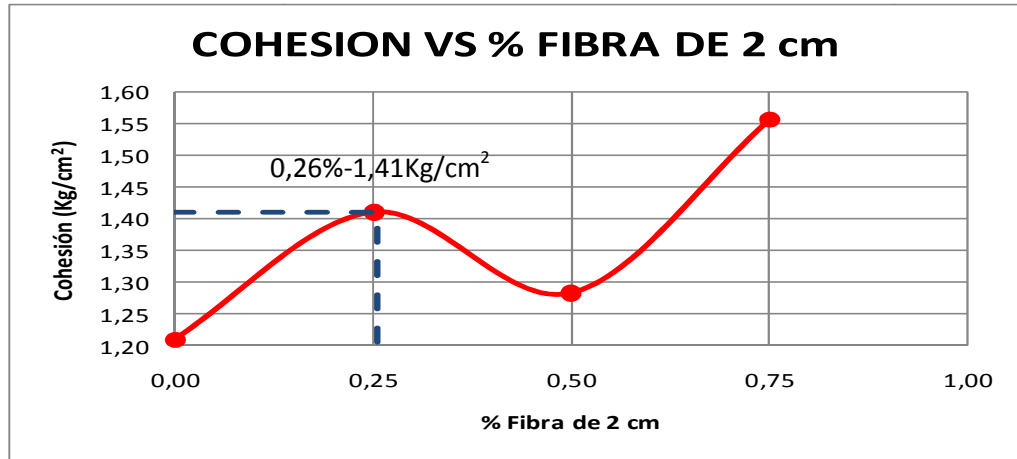
Al porcentaje de fibra de fibra de geotextil tejido T-2400 de 1cm con el cual se obtuvo el mayor ángulo de fricción interna le corresponde una cohesión de 1,38 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 9.** Ángulo de fricción Vs porcentaje de fibra de 2cm.



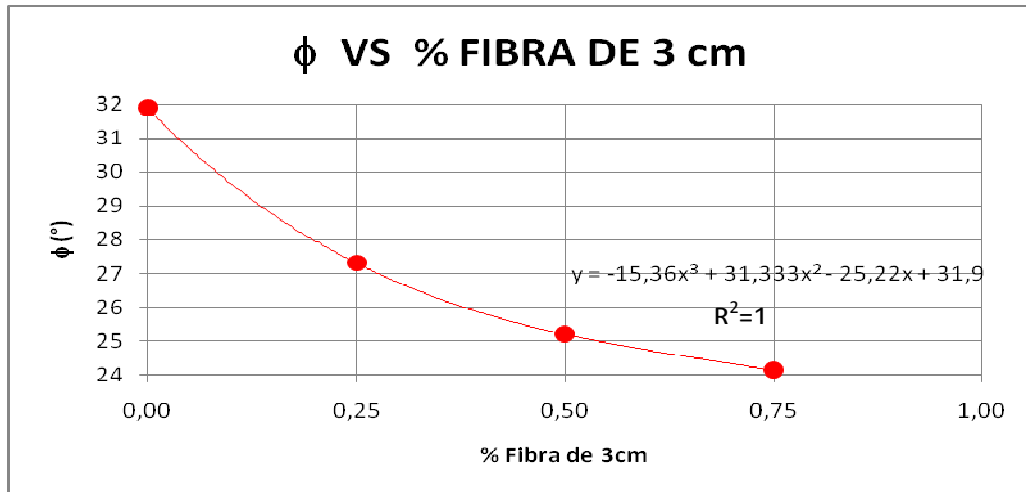
En la grafica anterior se puede apreciar que para una longitud de 2cm de fibra de geotextil tejido T- 2400 el máximo ángulo de fricción interna es de 43.6°, el cual se alcanza con un porcentaje de fibra de 0,26%.

**Figura 10.** Cohesión Vs porcentaje de fibra de 2cm.



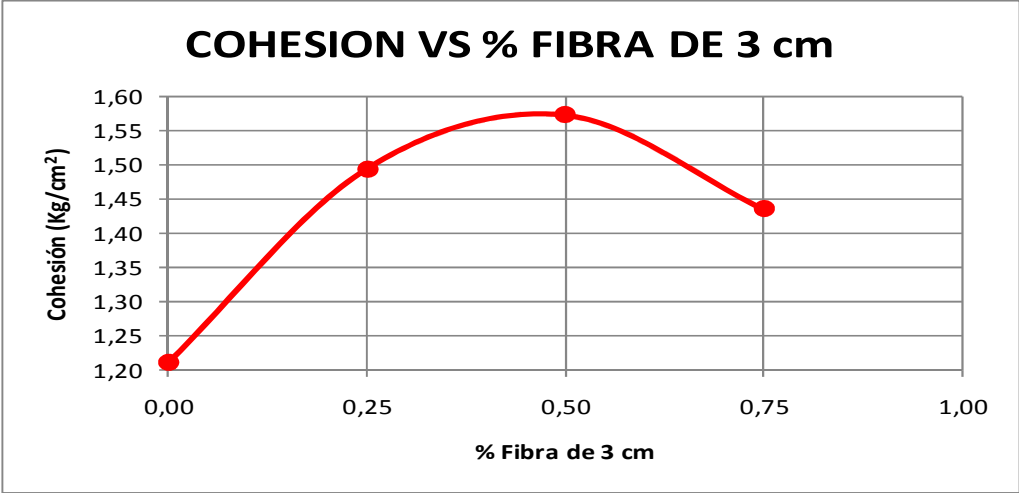
Al porcentaje de fibra de fibra de geotextil tejido T-2400 de 2cm con el cual se obtuvo el mayor ángulo de fricción interna le corresponde una cohesión de 1,41 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 11.** Ángulo de fricción Vs porcentaje de fibra de 3cm.



En la grafica anterior se puede observar que para una longitud de 3cm de fibra de geotextil tejido T-2400 el ángulo de fricción interna siempre disminuye. La razón de esta disminución de  $\phi$ , probablemente se deba a que para el tamaño de muestras usadas, la longitud de 3cm es muy grande, y la presencia de estas fibras tan largas induce planos de falla.

**Figura 12.** Cohesión vs porcentaje de fibra de 3cm.



## 8. CONCLUSIONES

- Mediante los ensayos de granulometría y límites de plasticidad se determinó que el tipo de suelo estudiado corresponde a una arcilla de baja plasticidad, esta arcilla se encontró en la cantera de la ladrillera BAUTISTA – CACERES.
- Mediante ensayos de compactación tipo Proctor modificado se determinó que la humedad óptima de la arcilla estudiada era aproximadamente del 13% y el peso específico seco máximo de 1.94 g/cm<sup>3</sup>.
- Después de realizar el ensayo de contracción se determinó que al suelo estudiado le corresponde un límite de contracción de 21,09%.
- Los resultados obtenidos en este trabajo aplican únicamente a suelos finos del tipo CL (arcillas inorgánicas de baja compresividad) clasificados mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y fibras de geotextil tejido T-2400.
- Luego de analizar los resultados obtenidos se observa que con longitudes mayores o iguales a 3cm y con cualquier porcentaje de fibra usado, el ángulo de fricción interna presenta una disminución comparado con los valores obtenidos en el suelo sin refuerzo.
- El máximo valor obtenido para el ángulo de fricción interna es de 43.6° el cual se logró con un porcentaje de fibra de 0.26% del peso de la muestra y una longitud de 2cm a estos valores le corresponde una cohesión de 1.41 Kg/cm<sup>2</sup>. Esto indica que para los parámetros

analizados se obtuvo un aumento en el ángulo de fricción de 36.7% y un aumento en la cohesión del 16.5%.

- Un posible error en la toma de los datos se debe a que es difícil controlar el porcentaje de fibra de geotextil de la muestra de suelo dentro de los moldes de corte directo a pesar que dentro de la bandeja previo a la compactación si se pueda.
- Luego de intentar realizar los ensayos de límite líquido y límite plástico usando suelo con fibra, se observó que estos no arrojaron resultados confiables lo cual se debe a que las fibras generan condiciones diferentes para las cuales el ensayo fue diseñado, ya que al momento de realizar el ensayo de límite plástico las fibras impedían llevar los rollos a la dimensión especificada en la norma, haciendo que estos se rompieran antes de lograr el diámetro ideal, al realizar el ensayo de límite líquido, el ranurador arrastraba las fibras y hacia que la ranura quedara más grande, por este motivo se decidió no dar cumplimiento al objetivo planteado.

## 9. RECOMENDACIONES

- Es indispensable la construcción de un cuarto húmedo, el cual es de vital importancia para este tipo de proyectos debido a que muchas veces se deben dejar moldes para ser fallados al siguiente día causando una disminución en su porcentaje de humedad y por consiguiente alterando los resultados.
- A falta de un cuarto húmedo es recomendable guardar las muestras en bolsas plásticas bien selladas o forrar dichas muestras con papel aluminio a fin de conservar de una mejor forma su humedad.
- Se sugiere a la Universidad Pontificia Bolivariana la adquisición de formaletas de corte directo que sean de dos piezas para facilitar la extracción de la muestra de suelo y así garantizar la ejecución del ensayo.
- Debido a que el uso de los equipos del laboratorio se hace por parte de estudiantes de tesis así como de estudiantes de pregrado estos se encuentran en muy malas condiciones por lo cual se recomienda la adquisición de un conjunto de equipos (serie de tamices, bandejas, platones), que sean de uso exclusivo para los estudiantes que estén realizando proyectos de grado.
- Para conseguir la humedad óptima del suelo, al momento de adicionar el agua se recomienda no usar las manos ya que en este proceso es posible que se pierdan algunos gramos de agua, a cambio de esto se sugiere el uso de un aspersor para llevar a cabo esta acción.

- Es recomendable que para investigaciones futuras se realicen ensayos de corte directo con muestras de suelo de dimensiones mayores a las usadas actualmente, con el fin de realizar comparativos, ya que los resultados obtenidos en este trabajo de grado solo son aplicables para muestras de dimensiones de 6cm x 6cm.
- Así mismo, es recomendable realizar este tipo de trabajos en la máquina triaxial, ya que sus resultados se ajustan más a la realidad debido a que se tiene dominio sobre la presión de confinamiento.
- También se recomienda desarrollar una investigación en la cual se adicionen fibras de geotextil a elementos de mampostería (ladrillos) con el objetivo de conocer su comportamiento.
- Se sugiere para investigaciones futuras el uso de fibras en porcentajes diferentes a los usados en este proyecto, y así conseguir resultados más precisos sobre el porcentaje óptimo de fibra.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- BERRY, Peter L y REID David. Mecánica de suelos. Primera edición. Bogotá: Mc Graw Hill.
- BOWLES, Joseph. Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil. Segunda edición. Bogotá D.C. MC GRAW HILL.
- CRESPO VILALAZ, Carlos. Mecánica de suelos y cimentaciones. 5Ed. México DF: Limusa Noriega.
- JIMENEZ SALAS, José A. mecánica del suelo y sus aplicaciones. Madrid: Dossat 1954.
- JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos: fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I. Tercera edición. México DF: Limusa Noriega.
- MANUAL DE DISEÑO. Geosintéticos. Geosintéticos. Octava edición.