“VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOMECANICAS EN ARCILLAS INORGÁNICAS DE ALTA PLASTICIDAD DESPUÉS DE LA ADICIÓN DE FIBRA DE POLIPROPILENO (FIBRATEX)”

PRESENTADO POR:

JORGE MARIO PULIDO GARCIA

JARLINGSON BOLIVAR BRICEÑO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.

SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

COMITÉ DE TRABAJAO DE GRADO

2016

“VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOMECANICAS EN ARCILLAS INORGÁNICAS DE ALTA PLASTICIDAD DESPUÉS DE LA ADICIÓN DE FIBRA DE POLIPROPILENO (FIBRATEX)”

JORGE MARIO PULIDO GARCIA.

JARLINGSON BOLIVAR BRICEÑO.

TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIEROS CIVILES

DIRECTOR

Msc. GERARDO BAUTISTA GARCÍA

VISTO BUENO DIRECTOR _____

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERIAS

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO

2016

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

Presidente del Jurado

_____

Jurado

_____

Jurado

DEDICATORIA

Dedico a...

Dios quien me dio sabiduría y fortaleza para alcanzar esta meta.

A mi madre que por su apoyo incondicional hizo que este sueño se volviera realidad.

A Laura por su infinita paciencia y amor en todo momento.

A mi hermana para ser su ejemplo a seguir.

JORGE MARIO PULIDO GARCIA

Dedicado a.

DIOS por permitirme alcanzar este reto y un logro para mi vida, sin el nada hubiese sido posible.

A mi mamita, Lida Julieta Briceño Moreno por ser mi apoyo incondicional y nunca desistir conmigo.

A mi abuelo Pedro Bolívar Cifuentes por abrirme las puertas de su casa y aportarme a este proyecto.

A mis abuelos Lucia Moreno, Guillermo Briceño, por brindarme una buena crianza junto a mi madre y ser el hombre que soy.

A mi hermano Danilo Bolívar Briceño uno de los motores de mi vida junto a mi madre.

A mis tios(a) paternos y maternos por su apoyo constante en mi ciclo profesional.

A mi novia INES BARAJAS, compañeros y profesores que siempre estuvieron conmigo en este proceso de la educación superior.

En memoria de PEDRO MARIA BOLIVAR GONZALES

JARLINGSON BOLIVAR BRICEÑO

AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este proyecto de grado fue necesario la colaboración de varias personas las cuales fueron pieza fundamental para la culminación del mismo, por lo que queremos darles un agradecimiento muy especial.

A nuestras familias por el apoyo incondicional en todo momento e infinita paciencia, por lo cual se alcanza esta meta.

Al ingeniero GERARDO BAUTISTA GARCIA, director de este proyecto de grado, por el tiempo, la confianza, el apoyo y los conocimientos compartidos para finalizar este proyecto en su totalidad.

Al señor OSCAR MENDOZA asesor de la empresa TESICOL, el cual suministró la fibra de polipropileno y las especificaciones requeridas.

Al señor DANILO BOLIVAR BRICEÑO, quien proporcionó el suelo utilizado en este trabajo de grado.

A la ingeniera NORA MONSALVE, coordinadora de los laboratorios de ingeniería civil, por facilitar los equipos y las instalaciones.

Al señor VICENTE PAEZ, laboratorista de la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, ya que por su experiencia y paciencia se llevaron a cabo todos los ensayos.

Contenido

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 14

1.1. DELIMITACION DEL PROBLEMA 14
1.2. JUSTIFICACIÓN 15
1.3. ANTECEDENTES 16

2. OBJETIVOS 18

2.1. OBJETIVO GENERAL 18
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18

3. MARCO TEÓRICO. 19

3.1. SUELO 19
3.1.1. TIPOS DE SUELO. 19
3.2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS 21
3.2.1. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS). 21
3.2.2. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASTHO. 24
3.3. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL UTILIZADO. 26
3.3.1. Granulometría. 27
3.3.1.1. Granulometría por mallas. 27
3.3.1.2. Prueba del hidrómetro. 28
3.3.2. Límites de consistencia. 28
3.3.2.1. Límite de líquido. 28
3.3.2.2. Límite plástico. 29
3.3.2.3. Límite de contracción. 29
3.4. ENSAYOS DE COMPACTACIÓN. 29
3.5. ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL CORTE DEL SUELO. 31
3.5.1. Ensayo de Corte Directo. 31
3.6. FIBRA DE POLIPROPILENO (FIBRATEX) 32
3.6.1. CARACTERÍSTICAS FISICO-QUIMICAS 33
3.6.2. CARACTERÍSTICAS MECANICAS 33

4. METODOLOGÍA. 34

4.1. RECOPILACION DE BIBLIOGRAFIA: 34
4.2. BUSQUEDA DEL MATERIAL: 34
4.3. RECOLECION Y PREPARACION DE LA FIBRA (FIBRATEX). 34
4.4. ENSAYOS DE LABORATORIO: 34
4.5. RECOLECCION DE DATOS. 35
4.6. ANALISIS DE RESULTADOS. 35

5. RESULTADOS 36

5.1. RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN. 36
5.2. RESULTADOS DE COMPACTACIÓN. 39
5.3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS A MUESTRAS SIN REFUERZO. 39
5.4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REFORZANDO EL SUELO CON FIBRA DE POLIPROPILENO (FIBRATEX)..... 40

6. ANALISIS DE RESULTADOS. 50

6.1. LIMITE DE CONTRACCIÓN 50
6.2. PRESIÓN DE EXPANSIÓN. 50
6.3. EXPANSIÓN LIBRE. 51
6.4. PERMEABILIDAD. 51
6.5. CORTE DIRECTO. 52

7. CONCLUSIONES. 60

8. RECOMENDACIONES. 62

9. BIBLIOGRAFÍA 64

LISTA DE TABLAS:

TABLA 1. RESULTADOS ENSAYO DE GRANULOMETRÍA. 36
TABLA 2. RESULTADOS LÍMITES DE PLASTICIDAD. 37
TABLA 3. RESULTADOS ENSAYOS DE LÍMITES DE CONTRACCIÓN. 38
TABLA 4. PRESIÓN DE EXPANSIÓN. 38
TABLA 5. EXPANSIÓN LIBRE. 38
TABLA 6. PERMEABILIDAD CABEZA VARIABLE. 38
TABLA 7. RESULTADOS ENSAYO DE COMPACTACIÓN. 39
TABLA 8. CUADRO RESUMEN DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO DEL SUELO SIN REFUERZO. 39
TABLA 9. CUADRO RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO, EN SUELO REFORZADO CON FIBRATEX DE 3/8 PULG DE LONGITUD Y 0.25% EN PESO. 41
TABLA 10. CUADRO RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO, EN SUELO REFORZADO CON FIBRATEX DE 3/8 PULG DE LONGITUD Y 0.50% EN PESO. 42
TABLA 11. CUADRO RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO, EN SUELO REFORZADO CON FIBRATEX DE 3/8 PULG DE LONGITUD Y 0.75% EN PESO. 43
TABLA 12. CUADRO RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO, EN SUELO REFORZADO CON FIBRATEX DE 3/4 PULG DE LONGITUD Y 0.25% EN PESO. 44
TABLA 13. CUADRO RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO, EN SUELO REFORZADO CON FIBRATEX DE 3/4 PULG DE LONGITUD Y 0.50% EN PESO. 45
TABLA 14. CUADRO RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO, EN SUELO REFORZADO CON FIBRATEX DE 3/4 PULG DE LONGITUD Y 0.75 % EN PESO. 46
TABLA 15. CUADRO RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO, EN SUELO REFORZADO CON FIBRATEX DE 6/5 PULG DE LONGITUD Y 0.25% EN PESO. 47
TABLA 16. CUADRO RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO, EN SUELO REFORZADO CON FIBRATEX DE 6/5 PULG DE LONGITUD Y 0.50% EN PESO. 48
TABLA 17. CUADRO RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO, EN SUELO REFORZADO CON FIBRATEX DE 6/5 PULG DE LONGITUD Y 0.75% EN PESO. 49
TABLA 18. RANGOS DE LÍMITES DE CONTRACCIÓN. 50
TABLA 19. CLASIFICACIÓN DE LA EXPANSIÓN DEL SUELO. 50
TABLA 20. POTENCIAL DE EXPANSIÓN. 51
TABLA 21. COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD SEGÚN EL TIPO DE SUELO. 51
TABLA 22. RESUMEN ÁNGULOS DE FRICCIÓN INTERNA. 52
TABLA 23. RESUMEN DE LA COHESIÓN. 52

LISTA DE FIGURAS:

FIGURA 1. TIPOS DE SUELOS. 19
FIGURA 2. CARTA DE PLASTICIDAD. 24
FIGURA 3. CLASIFICACIÓN AASTHO. 26
FIGURA 4. GRANULOMETRÍA POR MALLAS. 27
FIGURA 5. COPA DE CASA GRANDE. LÍMITE LÍQUIDO. 28
FIGURA 6. ENSAYO LÍMITE PLÁSTICO 29
FIGURA 7. ENSAYO PROCTOR MODIFICADO. 30
FIGURA 8.ENSAYO CORTE DIRECTO. 32
FIGURA 9. TIPOS DE FIBRAS SINTÉTICAS Y PROPIEDADES 32
FIGURA 10. CURVAS GRANULOMÉTRICAS. 36
FIGURA 11. PORCENTAJE DE FIBRA VS ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA. 53
FIGURA 12. PORCENTAJE DE FIBRA VS ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA. 54
FIGURA 13. PORCENTAJE DE FIBRA VS ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA. 54
FIGURA 14. PORCENTAJE DE FIBRA VS ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA. 55
FIGURA 15. PORCENTAJE DE FIBRA VS ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA. 56
FIGURA 16. PORCENTAJE DE FIBRA VS ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA. 57
FIGURA 17. PORCENTAJE DE FIBRA VS ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA. 58
FIGURA 18. PORCENTAJE DE FIBRA VS COHESIÓN. 59

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Registro fotográfico.

Anexo B. Ensayos de granulometría.

Anexo C. Límites de plasticidad.

Anexo D. Ensayo de compactación.

Anexo E. Ensayos de corte directo.

Anexo F. Ensayos de expansividad.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOMECANICAS EN ARCILLAS INORGÁNICAS DE ALTA PLASTICIDAD DESPUÉS DE LA ADICIÓN DE FIBRA DE POLIPROPILENO (FIBRATEX).

AUTOR(ES): JORGE MARIO PULIDO GARCIA
JARLINGSON BOLÍVAR BRICEÑO

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Msc. GERARDO BAUTISTA GARCIA.

RESUMEN

El presente trabajo de grado se realizó con el fin de analizar el comportamiento y cambio en las propiedades geomecánicas ocurrido después de la adición de fibra de polipropileno (FIBRATEX) en una arcilla inorgánica de alta plasticidad. El trabajo comenzó con la búsqueda de fuentes de material extraídas del municipio de San Pablo (Bolívar), donde se tomaron tres tipos de suelos de diferentes partes de la zona, a los cuales se les realizó ensayos de clasificación para determinar un tipo de suelo de alta plasticidad. Una vez escogido el material se determinó su humedad óptima y su peso específico seco máximo. Con estos parámetros se compactaron las muestras con las cuales se realizaron los ensayos de corte directo para el suelo en estado natural, el suelo con la adicción de fibra a 0.95 cm, el suelo con la adicción de fibra a 1.905 cm y el suelo con la adicción de fibra a 3 cm, todas ellas con los siguientes porcentajes en peso de fibra; 0.25%, 0.50%, 0.75%. Con los resultados obtenidos de los ensayos de corte directo se pudo establecer la variación de las propiedades de resistencia al corte de acuerdo con el porcentaje de fibra adicionada para tres diferentes longitudes de la misma, así mismo se logró determinar la longitud y proporción del material de refuerzo que presentaron un mayor ángulo de fricción.

PALABRAS CLAVES:

Polipropileno, Angulo de fricción, Fibratex, Alta plasticidad.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: GEOMECANIC PROPERTIES VARIATION IN HIGH PLASTICITY INORGANIC CLAYS AFTER ADDITION OF POLYPROPYLENE FIBER (FIBRATEX).

AUTHOR(S): JARLINGSON BOLIVAR BRICEÑO
JORGE MARIO PULIDO GARCIA

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Msc. GERARDO BAUTISTA GARCIA.

ABSTRACT

The present degree work was realized in order to analyze the behavior and change in the geomechanical properties happened after the addition of polypropylene fiber (FIBRATEX) in high plasticity inorganic clay. The work began with the search for sources of material extracted from San Pablo (Bolívar) town, where three soils types were taken from different parts of the area, to which classification tests were realized out to determine a high plasticity soil type. Once the material was chosen, its optimum moisture and maximum specific dry weight were determined. With these parameters the samples were compacted with the direct cut tests for the soil in the natural state: the soil with the fiber addiction at 0.95 cm, the soil with the fiber addiction at 1,905 cm and the soil with the Fiber addiction at 3 cm; all with the following percentages in fiber weight; 0.25%, 0.50%, 0.75%. With the direct cutting tests results obtained, it was possible to establish the shear strength properties variation according to the fiber added percentage for three different lengths of the same, as well was possible to determine the reinforcement material length and proportion that presented a greater friction angle.

KEYWORDS:

Polypropylene, Friction angle, FIBRATEX, High plasticity.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

Cuando se van a diseñar obras geotécnicas es necesario conocer los parámetros físicos de los suelos involucrados (peso específico, ángulo de fricción interna y cohesión). El ángulo de fricción interna es el parámetro que más influye de manera directa en la capacidad de soporte, estabilidad de taludes, presiones laterales de tierra sobre elementos de contención, etc.

Si el ángulo de fricción interna de un suelo se aumenta, se obtendrá una mayor capacidad de soporte para presiones verticales, un mayor factor de seguridad para taludes conformados por dichos materiales y una menor presión lateral de tierras sobre muros que se encuentren al frente de estos suelos.

En el presente trabajo de grado se estudió la variación de los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante (ángulo de fricción interna y cohesión) de una arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH) después de la adición de fibras poliméricas (fibratex).

El trabajo realizado incluyó la adición de diferentes longitudes y porcentajes en peso de fibra para finalmente determinar la longitud y contenido óptimos de dicho material de refuerzo, es decir aquellas que derivaron en el mayor aumento del ángulo de fricción interna del suelo estudiado.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1. DELIMITACION DEL PROBLEMA

Uno de los problemas que más afectan a las obras civiles es la baja capacidad portante debida a un valor bajo de sus propiedades geomécanicas, especialmente el ángulo de fricción interna, el cual afecta de manera directa y significativa la resistencia del suelo.

Los suelos finos normalmente tienen una cohesión alta y un ángulo de fricción interna bajo por lo tanto la capacidad de soporte de dichos suelos es baja.

Para los países de américa del sur los cuales cuentan con una topografía escarpada, un crecimiento poblacional y estructural, es necesario buscar diversos materiales para lograr el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo.

Con en el presente trabajo de grado se estudió el comportamiento y aumento significativo del ángulo de fricción interna mediante la adicción de fibras de polipropileno (fibratex)

1.2. JUSTIFICACIÓN

El mundo cada vez más aumenta su población y con ello crece la necesidad de construir más edificaciones y corredores viales, haciendo uso de todo tipo de suelos (incluso mejorar las propiedades de dichos suelo si esto se requiere).

La estabilización de los suelos consiste en mejorar el terreno natural con materiales o aditivos que puedan ser de aprovechamiento y un mejor rendimiento para sus propiedades físicas. En campo las actividades de construcción tanto las estructurales como las viales presentan diferentes tipos de geología con características diferentes, por eso es necesario crear soluciones y nuevas tecnologías que nos puedan llevar al punto del requerimiento de obra.

En los últimos diez años se han realizado algunos trabajos de grado en la Universidad Pontificia Bolivariana tendientes a mejorar el ángulo de fricción interna de suelos cohesivos de la región, mediante la adicción de diferentes fibras naturales y artificiales, con base en dichas investigaciones en el presente trabajo de grado se estudió el comportamiento de las propiedades de resistencia al corte de un suelo arcilloso proveniente del sur de Bolívar después de la adición de fibras poliméricas en diferentes proporciones y longitudes.

1.3. ANTECEDENTES

En el campo de la geotecnia se han desarrollado diferentes métodos de estabilización de suelos para proyectos de obras viales y cimentaciones en las estructuras. Son frecuentes las estabilizaciones con material granular, cemento, cal, etc. Sin embargo el alcance de este proyecto se imita a estudiar el comportamiento de los suelos al estabilizarlos con fibras de polipropileno (FIBRATEX).

Para el desarrollo de este proyecto se tomaron como base los antecedentes regionales de los trabajos de grados realizados en la universidad pontificia bolivariana seccional Bucaramanga por parte de los siguientes estudiantes.

- En el año dos mil cuatro (2004) los estudiantes "Sergio Cerro y Jessica Oviedo", realizaron un trabajo de grado titulado (ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS FINOS EN EL APARATO DE CORTE DIRECTO). Los estudiantes mencionados estudiaron una arcilla de baja compresibilidad [CL] con un ángulo de fricción interna de [22°], después de adicionar fibra de guadua en diferentes longitudes y porcentajes encontraron que con las longitudes de 2cm y un porcentaje de fibra de (0.25%) el ángulo de fricción interna aumento hasta (36.78°).[1]

- En el año dos mil cinco (2005) los estudiantes "Monica Acosta y José Ballesteros", realizaron un trabajo de grado titulado (ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS FINOS DESPUÉS DE LA ADICCIÓN DE FIBRA DE VIDRIO). Estos estudiantes estudiaron una arcilla inorgánica de alta compresibilidad [CH] con un ángulo de fricción interna de [23.53°], después de adicionar fibra de vidrio en diferentes longitudes y porcentajes encontraron que con las longitudes de 2cm y un porcentaje de fibra de (0.38%) el ángulo de fricción interna aumento hasta un (41.4°).[2]

- En el mismo año dos mil cinco (2005) las estudiantes "Johana Paola Santos y Tania Torres", realizaron un trabajo de grado titulado (ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS FINOS DESPUÉS DE LA ADICCIÓN DE FIBRA ARTIFICIALES). Las estudiantes ya mencionadas se basaron en el estudio de una arcilla de baja compresibilidad [CL] con un ángulo de fricción interna de [24.99|], después de la adicción de fibra artificial

[1] S. A. Cerro Becerra y Y. Oviedo Diaz, Analisis de comportamiento de los suelos finos en el aparato de corte directo despues de la adición de fibras naturales, Bucaramanga: Trabajo de grado Universidad Pontificia Bolivariana , 2004

[2] M. C. Acost Reyes y J. J. Ballesteros Fuentes, Estudio del comportamiento de los suelos finos despues de la adición de fibra de vidrio, Bucaramanga : Trabajo de grado Universidad Pontificia Bolivariana, 2005.

en diferentes longitudes y porcentajes llegaron a la conclusión que la longitud más acertada fue la de (1.9cm) con un porcentaje de fibra de (0.50%) el ángulo de fricción interna aumento hasta un (39.25%).[3]

- En el año dos mil ocho (2008) los estudiantes “Herik Barajas y German Vanegas” realizaron un trabajo de grado titulado (ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS ARCILLOSOS DESPUÉS DE LA ADICCIÓN DE FIBRA DE GEOTEXTIL TEJIDO T-1700).Los estudiantes mencionados estudiaron un suelo arcilloso de baja compresibilidad [CL] con un ángulo de fricción interna (24.6°), después de la adicción de fibra de geotextil en diferentes longitudes y porcentajes encontraron que con las longitudes de (2cm) y un porcentaje de (0.45%) el ángulo de fricción interna aumento hasta un (48.7%).[4]

- En el año dos mil doce (2012) los estudiantes “Diana Moreno y Robinson Ramírez” realizaron un trabajo de grado titulado (MEJORAMIENTO DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA EN ARENAS ARCILLOSAS MEDIANTE LA ADICCIÓN DE GEOTEXTIL TEJIDO DE T-2400). Los estudiantes mencionados estudiaron un suelo correspondiente a una arena arcillosa (SC) con un ángulo de fricción interna (30°) después de adicionar fibra de geotextil tejido de T-2400 en diferentes longitudes y porcentajes encontraron que las longitudes de 2cm y el porcentaje de fibra de (0.50%) el ángulo de fricción interna aumento hasta un (30.4%).[5]

[3] J. P. Santos Rey y T. C. Torres Serrano, Estudio del comportamiento de los suelos finos depues de la adición de fibras artificiales., Bucarmanga: Trabajo de grado Universidad Pontificia Bolivariana , 2005.

[4] H. Y. Barajas Lozano y G. A. Vanegas Barrera, «Estudio del comportamiento de los suelos arcillosos despues de la adicón de fibra de geotextil tejido T-1700,» Universidad Pntificia Bolivariana, Bucaramanga, 2008.

[5] D. P. Moreno y R. J. Ramirez, «Mejoramiento del ángulo de fricción interna en arenas arcillosas mediante la adicion de geotextil tejido T-2400,» Universidad Pontificia Bolivariana, bucaramanaga, 2012.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Analizar la variación y el comportamiento de los suelos arcillosos de alta plasticidad en estado natural y después de la adicción de fibras de polipropileno (fibratex) en longitudes de (3/8 pulg, 3/4 pulg, 6/5 pulg) y porcentajes de (0.25%,0.50%, 0.75%), basado en resultados de investigaciones previas.

2.2. Objetivos Específicos

- Ubicar posibles fuentes de materiales arcillosos que tengan un ángulo de fricción bajo.

- Realizar los ensayos de laboratorio de granulometría por mallas con lavado por el tamiz N-200 y límites de plasticidad requeridos para clasificar el material a estudiar por medio de los métodos unificado y AASTHO

- Mediante ensayos de compactación determinar la humedad óptima y pesos específico seco máximo del material estudiado.

- Identificar los porcentajes de fibratex óptimos para el mejoramiento de las arcillas mediante la ejecución de pruebas de corte directo.

- Realizar un análisis de resultados y observar los cambios en las propiedades de los nuevos suelos ya agregada la fibra de polipropileno.

- Determinar en qué tipo de obras se pueden emplear los suelos mejorados

3. MARCO TEÓRICO.

3.1. SUELO

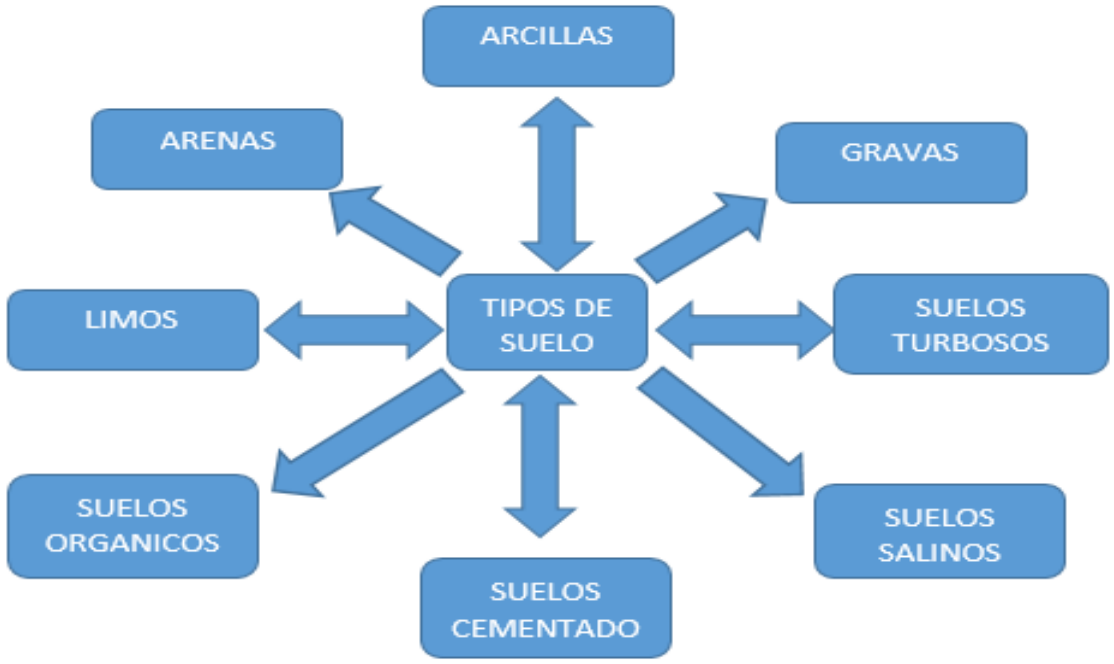
3.1.1. TIPOS DE SUELO.[6]

Los suelos presentes en la tierra**,** se clasifican por el siguiente método de clasificación:

- **Sistema unificado de clasificación (S.U.C.S)**
- **Sistema de clasificación AASTHO.**

Por dichas formas de clasificación se da un nombre a los diversos tipos, como nos muestra la imagen 1.

Figura 1. Tipos de suelos.



Fuente. Autor.

ARCILLAS:

Provienen de la sedimentación en los causes de los ríos o erosiones por cambios geológicos. Son suelos que absorben mucha humedad. Si son sometidas a un esfuerzo a compresión las fallas producidas permanecen cerradas y durante largo

[6] E. Juares Badillo y A. Rico Rodriguez, Fundamentos de la mecanica de suelos tomo 1, Bogota DC: Limusa, 2005 .P.7-10.

tiempo conservan sus propiedades mecánicas, mientras si son sometidas a tensiones las fallas se abren y posibilitan la entrada de agua, lo que debilita las propiedades.

ARENAS: [7]

Son suelos óptimos para la construcción ya que, cuentan con un elevado rozamiento interno y baja compresibilidad, aunque se debe proteger de la erosión interna y externa. Algunos tipos de arenas presentan asentamientos progresivos y constantes. Las excavaciones echas en este tipo de suelo por debajo del nivel freático son peligrosas pues se convierten en instables.

GRAVAS: [7]

Son generadas de forma artificial es decir por un tratamiento el cual se encarga de partir la roca o de forma natural producido por el movimiento de ríos, los cuales dan una forma redondeada a las rocas. Uno de los problemas mecánicos que tiene este tipo de suelo es su permeabilidad.

LIMOS: [7]

Son suelos con una cohesión pequeña, muy permeables y el agua la atraviesa con facilidad, tiene una apariencia similar a las arcillas y provienen de depósitos fluviales.

SUELOS TURBOSOS:

Suelos que solamente están compuestos de materia orgánica, son de fácil reconocimiento porque a simple vista se puede observar restos de plantas. Cuentan con unas propiedades mecánicas muy reducidas, es decir su capacidad de carga es muy poca, son muy compresibles y cuentan con una alta variación de volumen, por lo general son de color oscuro o negro.

SUELOS ORGANICOS:

Suelos que cuentan parcialmente con materia orgánica, contiene humus lo que hace tenga una alta compresibilidad, dicho humus es producido por la transformación que le hacen los diferentes organismos vivos y los efectos del clima, también se caracteriza por ser de color oscuro.

---

[7] C. Crespo Villalaz, MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES, 5 Ed, Limusa, 2008. P.21-27.

SUELOS CEMENTADOS.[8]

Los suelos de mayor relevancia son las margas. Suelos arcillosos que cuentan con carbonato de cálcico, dicho componente varía sus propiedades. Son suelos que en su gran mayoría están unidad por una sustancia resistente como la caliza. Cuentan con una alta permeabilidad y se inundan con facilidad.

SUELOS SALINOS (YESOS).[8]

Como su nombre lo indica son suelos con alto contenido de sal, cuentan con alta plasticidad y un alto peso por las arcillas sódicas. Son impermeables y muy compresibles. No son muy recomendables para el concreto, debido a su contenido de sal. Son formadas por la sedimentación de aguas salinas o por infiltración de dichas aguas.

3.2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

3.2.1. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS).[9]

El sistema se centra en dos grandes grupos, suelos gruesos y finos, separando ambos por medio del tamizado a través de la malla 200; las partículas gruesas son aquellas que no pasan dicha malla, mientras que las finas son las que atraviesan. Un suelo es considerado GRUESO si más del 50% de sus partículas son de grano grueso, y fino si más de la mitad de sus partículas son finas.

SUELOS GRUESOS.

- Gravas suelos en que predominen estas, **(G).**
- Arenas y suelos arenosos, **(S).**

Las gravas y las arenas son separadas con la malla N°4, si más del 50% de grava es retenido en la malla 200 se considera del grupo **(G)**, de lo contrario pertenece al grupo **(S)**.

Dichos grupos se subdividen en:

1. Material con pocos finos, bien gradado. Símbolo **W**, se combina con los símbolos genéricos **GW** y **SW.**

[8] E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez, Mecánica de suelos Fundamento de la mecánica de suelos tomo 2, Mexico: LIMUSA, 1973. P.441.-442

[9]. A. M. Fonseca, Ingenieria de Pavimentos para carreteras, vol. 1, Bogota DC: Universidad Catolica de Colombia, 1998. P.49-54.

2. Material con pocos finos, mal gradado. Símbolo **P**, se combina con los símbolos genéricos **GP** y **SP.**
3. Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo **M**, en combinación con símbolos genéricos **GM** y **SM.**
4. Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo **C**, en combinación con los símbolos genéricos **GC** y **SC.**

A continuación, se describen cada uno de los grupos anteriores, con el fin de profundizar y obtener algunos criterios para identificarlos.

Grupo GW y SW.

Estos grupos cuentan con material prácticamente limpios de finos y son bien gradados. La presencia de finos no debe generar cambios apreciables en la resistencia de la fracción gruesa, ni interferir en la capacidad de drenaje. Para garantizar que lo anterior se cumpla debe cumplir con algunas especificaciones.

- El contenido de finos no sea mayor al 5% en peso.
- La gradación se juzga por medido del ensayo de uniformidad y curvatura.
- Para las gravas bien gradadas (GW), la uniformidad debe ser mayor de 4 y la curvatura entre 1 y 3
- Para las arenas bien gradas (SW), la uniformidad debe ser mayor de 6, pero la curvatura debe estar en los mismos rangos anteriores.

Grupos GP y SP.

Estos suelos son mal graduados; es decir, son de apariencia uniforme o cuenta con un tamaño o un margen de tamaños, haciendo falta algunos tamaños; debe cumplir los requisitos en lo referente a partículas finas, dentro de este grupo se encuentran las gravas uniformes las cuales se encuentran en los lechos de los ríos, las arenas uniformes, de médanos y playas y las mezclas de gravas y arenas finas, encontradas en un proceso de excavación.

Grupos GM y SM

Para este grupo el contenido de finos afecta directamente las características de resistencia, esfuerzo-deformación y la capacidad de drenaje libre de la fracción gruesa; en la vida profesional se ha visto que esto ocurre si:

- Para finos superiores a 12% en peso.
- La plasticidad varia ente “nula” y “media”; es decir, los límites de plasticidad de encuentre debajo de la línea A o su índice de plasticidad sea menor de 4.

Grupo GC y SC.

Como en el grupo anterior el contenido de finos debe ser mayor que 12% en peso, y debe cumplir las condiciones de los grupos GM Y SM. Pero, en este caso los finos son de “media” y “alta plasticidad”, y que los límites de plasticidad se encuentren sobre la línea A, teniéndose, además, la condición que el índice de plástico sea mayor que 7.

A los suelos gruesos con contenido de finos comprendido entre 5% y 12%, en peso, el Sistema Unificado los considera de frontera, otorgándole una doble simbología.

Cuando el material no es claramente definido, se debe usar una doble simbología correspondiente a casos de frontera.

SUELOS FINOS.

Como en el caso de los suelos gruesos el sistema los agrupa otorgando un símbolo a cada grupo por dos letras mayúsculas, elegidas con un criterio parecido al usado anteriormente, y dando como resultado las siguientes divisiones:

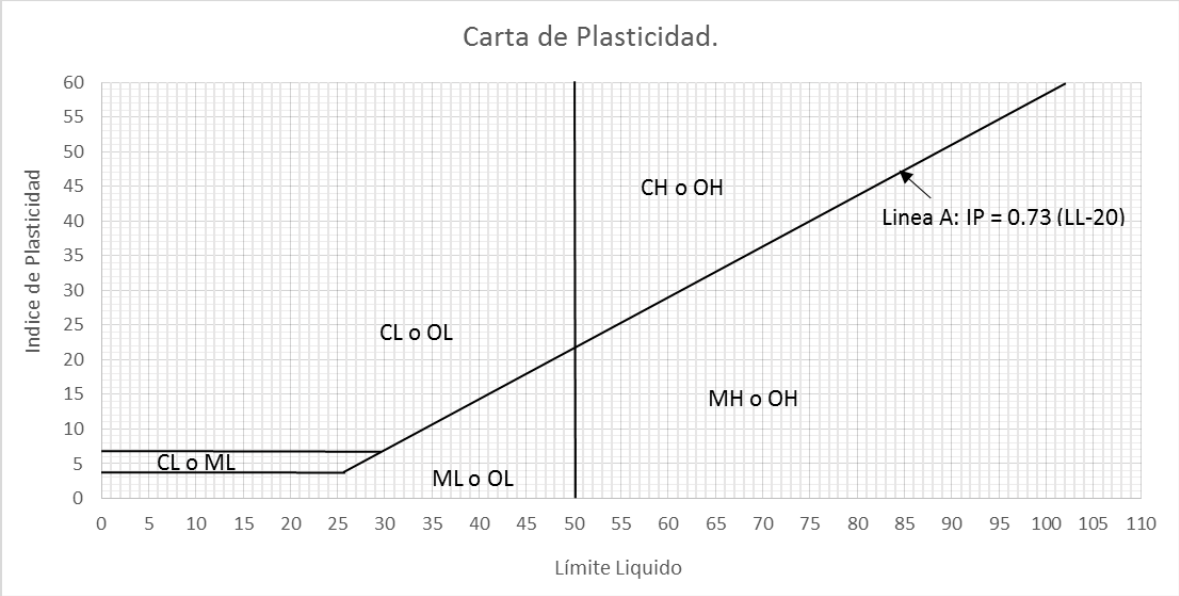
- Limos inorgánicos **(M)**
- Arcillas inorgánicas **(C)**
- Limos y arcillas orgánicas **(O)**

Cada uno de los anteriores grupos de suelos se subdivide, dependiendo del límite líquido, en dos grupos.

- Menor a 50%, suelo de compresibilidad baja o media se añade la letra **L**.
- Mayor a 50%, suelos de alta compresibilidad se otorga la letra **H**.

El límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) determinan la plasticidad del suelo, y se debe tener en cuenta que, la compresibilidad es una función directa del límite líquido; es decir que un suelo es más compresible a mayor límite líquido.

Figura 2. Carta de plasticidad.



Fuente**.** Autor.

La figura 2, es clave para clasificar el tipo de suelo fino, teniendo en cuenta el límite líquido y el índice de plasticidad se entra en la tabla; el nombre que se le adjudica al suelo corresponde al de la región donde se crucen los límites.

3.2.2. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASTHO.[11]

Teniendo en cuenta el sistema y el comportamiento los suelos están clasificados en ocho grupos, otorgándole un símbolo que va del A-1 al A-8.

Suelos granulares: Poseen 35% o menos, de material fino que pasa por el tamiz No. 200. Dichos suelos conforman los grupos A-1, A-2 y A-3.

Grupo A-1: Mezclas bien graduadas, formadas de fragmentos de piedra, grava, arena y/o material ligante poco plástico.

Subgrupo A-1a: Material formado con gran cantidad de piedra o grava, puede o no tener material ligante. Materiales bien graduados.

Subgrupo A-1b: Material formado por mayor cantidad de arena gruesa bien graduada, con o sin ligante.

[11] A. M. Fonseca, Ingenieria de Pavimentos para carreteras, vol. 1, Bogota DC: Universidad Catolica de Colombia, 1998. P.44-47.

Grupo A-2: Gran parte del material granular que contiene menos del 35% del material fino.

Subgrupo A-2-4 y A-2-5: Material fino igual o menor del 35% y donde lo que pasa por el tamiz No. 40 cuenta con las mismas características de los suelos A-4 y A-5.

Subgrupo A-2-6 y A-2-7: Material fino igual o menor del 35% y donde lo que pasa por el tamiz No. 40 cuenta con las mismas características de los suelos A-6 y A-7

Grupos A-3: Este grupo comprende las arenas finas y aquellas con poca cantidad de limo no plástico y se incluye las arenas de rio con poca grava y arena gruesa.

Suelos finos: Poseen más del 35% del material fino que pasa por el tamiz No. 200 y comprende los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

Grupo A-4: Comprende los suelos limosos poco o nada plásticos que tiene un 75% o más del material fino.

Grupo A-5: Los suelos son similares al grupo A-4, pero se diferencia por los materiales micáceo o diatomáceo. Son elásticos y cuenta con un límite liquido elevado.

Grupo A-6: El material más común de este grupo es la arcilla plástica. Por lo menos el 75% debe pasar el tamiz No. 200, pero también se incluyen las mezclas arcillo-arenosos, donde su porcentaje de arena y grava debe ser 64%. Por lo general estos materiales tienen cambios volumétricos.

Grupo A-7: Este grupo es similar al grupo A-6, pero cuentan con elasticidad alta y sus límites líquidos son elevados.

Subgrupo A-7-5: Incluye materiales donde los índices de plasticidad son muy altos con respecto a sus límites líquidos.

Subgrupo A-7-6: Incluye suelos cuyo índice de plástico es muy elevado con respecto a su límite líquido y tienen cambios volumétricos exagerados.

Índice de grupo: Es usado para comparar diferentes suelos dentro de un mismo grupo. El índice encontrado se redondea al entero siguiente y se reemplaza entre paréntesis después del número de clasificación.

Dicho índice de grupo se calcula de la siguiente manera:

$$\boldsymbol{IG = (F - 35) * [0.2 + 0.005 * (LL - 40)] + 0.01 * (F - 15) * (IP - 10)}$$

Siendo:

F: Porcentaje que pasa por el tamiz No. 200.
LL: Límite líquido.
IP: Índice de plasticidad.

Para los subgrupos A-2-6 y A-2-7 el índice de grupo se calcula:

$$\boldsymbol{IG = 0.01 * (F - 15) * (IP - 10)}$$

Figura 3. Clasificación AASTHO.

Clasificación general	**Materiales granulares (35% ó menos pasa el tamiz N.200)**							**Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz N. 200)**			
Clasificación por grupo	**A-1**		**A-3**	**A-2**				**A-4**	**A-5**	**A-6**	**A-7 A-7-5 A-7-6**
	A-1-a	**A-1-b**		**A-2-4**	**A-2-5**	**A-2-6**	**A-2-7**				
Tamizado, porcentaje que pasa											
2.00 mm (N. 10)	50 max.	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
0.425 mm (N. 40)	30 max.	50 max.	51 min.	----	----	----	----	----	----	----	----
0.075 mm (N. 200)	15 max.	25 max.	10 max.	35 max	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características fracción que pasa el tamiz N. 40											
Límite Líquido	----		----	40 max.	41 max.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Indice de plasticidad	6 max.		N.P.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Material constituyente más común	Fragmento roca grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas arcillosas y limosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Comportamiento general como subrasante	Excelente a bueno							Regular a malo			

Fuente. Norma INV E 180-13. Clasificación de suelos y de mezclas de suelos y agregados con fines de construcción de carreteras (sistema AASHTO).

3.3. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL UTILIZADO.

Teniendo en cuenta el objetivo general planteado en este trabajo de grado, el cual buscaba analizar la variación y el comportamiento del ángulo de fricción interna al incorporar fibras de polipropileno en distintas longitudes y proporciones, fue necesario trabajar con una arcilla de alta plasticidad [CH] de color habana con matices grises, proveniente de San Pablo Sur de Bolívar.

Los proyectos de ingeniería en su gran mayoría se ven obstruidos porque se encuentran en zonas donde el suelo cuenta con una gran cantidad de finos, los cuales tienen la capacidad de expandirse o de comprimirse, según su grado de saturación, lo cual produce fallas. A su vez son poco estables, cuentan con alta absorción de agua, baja permeabilidad, baja capacidad portante y estabilidad; dichas características son desfavorables, motivo por el cual hace necesario realizar métodos de mejora como la adición de productos químicos, cenizas, o ya sea a remover el suelo en su totalidad para así reemplazarlo por otro, pero dichos métodos son de alto costo.

Para determinar el tipo de material de trabajo se realizaron los siguientes ensayos de clasificación:

3.3.1. Granulometría.

Estudia la forma como las partículas se distribuyen en un suelo según su tamaño, lo cual da un criterio obvio para una clasificación descriptiva, las cuales están expresadas con base en al peso total seco de la muestra dado en porcentaje (%).

Existen dos tipos, la realizada por malla (realizada en este trabajo) y la prueba del hidrómetro.

3.3.1.1. Granulometría por mallas.

Se toma una muestra totalmente seca y pesada, la cual se debe pasar por una serie de tamices ordenados de mayor abertura a menor (11/2”, 1”, 3/4”, N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°80, N°100, N°200); el paso del material fino se hace por medio de un lavado con agua en el tamiz N° 200 (0.074mm).

Se registra el peso inicial de la muestra seca, luego esta se lava por el tamiz N° 200, se deja secar y se vuelve a pesar, la diferencia de estos pesos se toma como material que pasa por el tamiz N° 200, el material restante se pasa por la serie de tamices tomando el peso retenido en cada uno y así poder graficar la distribución granulométrica. Si la curva granulométrica es casi lineal, corresponde a un suelo con diversos tamaños de partículas (bien gradados), cuando tiene una pendiente alta corresponde a suelos donde las partículas tienen un solo tamaño (mal gradado).

Figura 4. Granulometría por mallas.

Lavado previo del material

Serie de tamices

lavado del material en el tamiz

Fuente: Autor.

3.3.1.2. Prueba del hidrómetro.[12]

Este método se basa en la velocidad con la que se sedimenta una partícula en un líquido en función de su tamaño, dicho método se fundamenta en la ley de STOKES, la cual proporciona una relación entre la velocidad de sedimentación de las partículas en un líquido y el tamaño de esas partículas.

3.3.2. Límites de consistencia. [13]

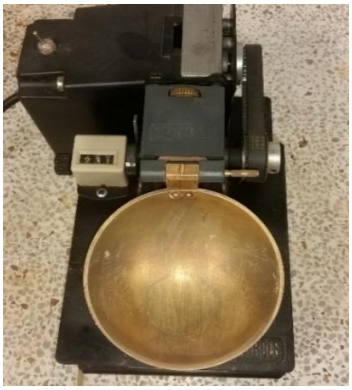
Para determinar la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg, quien los clasifico en cuatro estados de consistencia coherentes con dicha propiedad, la cual nos dice hasta que limite puede deformarse un suelo sin romperse. Las arcillas presentan dicha propiedad en grado variable, para este trabajo fue necesario determinar el limite líquido, limite plástico y límite de contracción, para poder clasificar de manera correcta el suelo.

3.3.2.1. Límite de líquido.

Para determinar el límite líquido se llena parcialmente la copa de Casagrande con 1 cm de suelo mezclado con agua, se hace una ranura en la mitad con el ranurador trapezoidal y se procede a accionar la copa a razón de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes necesario para cerrar la ranura.

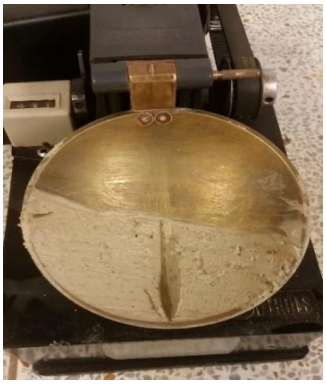
El ensayo se realiza tomando 4 puntos, de los cuales 2 son por encima de 25 golpes y los 2 golpes restantes por debajo de 25, hasta que se cierre la ranura, es necesario que los golpes se encuentren entre 6 y 40, de ser menores a 6 es imposible determinar el momento exacto de cierre y se ser mayor a 40, la prueba pierde humedad por evaporación debido a la larga duración.

Figura 5. Copa de casa grande. Límite Líquido.



Copa Casagrande

Ranurador



Límite líquido.

Fuente. Autor.

[12] W. Forsythe, Manual de laboratorio FISICA DE SUELOS. San José, Costa Rica: Instituto interamericano de ciencias Agrícolas. P.50.

[13] C. Crespo Villalaz, MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES. 5Ed. México DF: Limusa Noriega. P. 69-72.

3.3.2.2. Límite plástico.

El límite plástico (LP) consiste en el contenido de humedad, expresado en porcentaje respecto al peso seco de la muestra secada al horno, dicho ensayo se realiza con lo que queda del límite líquido, se procede a realizar rollos de aproximadamente 3 mm de diámetro, sobre una superficie de vidrio corrugado o sobre papel periódico, es necesario que los rollos se fracturen, agrieten o desmoronen de no ser así, se repite el procedimiento hasta conseguir que ellos se rompan, cuando esto sucede es tiempo de tomar la humedad, la cual corresponde al límite líquido.

Figura 6. Ensayo límite plástico.

Fuente. Autor.

3.3.2.3. Límite de contracción.

El límite de contracción (L.C.) de un suelo, nos muestra el porcentaje de humedad respecto al peso seco de la muestra, con el cual una reducción de agua no ocasiona la disminución de su volumen.

Se determina el volumen del vaso llenándolo con mercurio en su totalidad, se prepara el material el cual debe quedar de una forma pastosa procurando que el contenido del agua sea aproximadamente igual al del límite líquido, se distribuye de manera uniforme el material y se toma el peso, se introduce en el horno hasta q este totalmente seco tomando su peso final.

3.4. ENSAYOS DE COMPACTACIÓN.

La compactación de un suelo tiene como propósito principal aumentar la resistencia y disminuir la compresibilidad, aplicando cierta energía a un suelo, logrando así una variación del peso volumétrico con respecto a su contenido de humedad.

Las ventajas de implementar dicho ensayo son:

- Aumentar la resistencia al corte, lo que mejora la capacidad de soporte y la estabilidad del suelo.
- Disminución de la compresibilidad, ya que reduce el asentamiento del suelo.

- Disminuir la relación de vacíos, lo cual reduce la permeabilidad.[14]

En todos los suelo, al aumentar la humedad se produce un medio lubricante entre partículas que ayuda a acomodarse entre ellas, si se sigue aumentando la humedad implementando el mismo esfuerzo de compactación, se obtiene el mejor acomodo de las partículas de suelo, por lo cual el mayor peso volumétrico seco. Esta humedad se conoce como la humedad optima; es necesario procurar que en los diversos proyectos sean compactados con ella, ya que facilita el acomodo de las partículas con el menor trabajo del equipo de compactación.[15]

La compactación en el laboratorio busca igualar el resultado en campo, por lo que se estableció el ensayo de R.R Proctor, el cual consiste en compactar una muestra de suelo en un molde cuyo volumen es conocido, con una energía nominal de 593.7 Kj/m^3 y una humedad conocida. Es necesario repetir el ensayo hasta que se produzca una curva de contenido de humedad contra densidad seca, en la cual se determina el contenido de humedad óptimo para obtener la densidad seca máxima.

Al aumentar la necesidad de suelos con una mayor densidad, el ensayo de compactación tradicional fue quedando atrás, motivo por el cual se creó un ensayo llamado Proctor modificado el cual tiene el mismo principio propuesto por R.R Proctor pero cambia sus características, el molde de mayor tamaño, martillo con mayor fuerza, aumento de las capas (5 capas a 55 golpes por capa) y aumento en la caída del martillo (0.46m).

Figura 7. Ensayo Proctor modificado.

Fuente. Autor.

[14] E. Juares Badillo y A. Rico Rodriguez, Fundamentos de la mecanica de suelos tomo 1, Bogota DC: Limusa, 2005. P.575.

[15] C. Crespo Villalaz, MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES. 5Ed. México DF: Limusa Noriega. P.102.

3.5. ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL CORTE DEL SUELO.

Los suelos presentan falla o se cortan cuando exceden su resistencia al corte, es decir cuando alcanzan una tensión equivalente a la tensión de falla.

La resistencia al corte de un suelo está ligada directamente a dos componentes: la cohesión y el ángulo de rozamiento entre las partículas. El ángulo que hacen las partículas entre si debido a las fuerzas de rozamiento, el cual produce una falla, es llamado ángulo de rozamiento interno de un suelo. La cohesión es la fuerza de atracción o adherencia entre partículas del suelo, debido a las fuerzas moleculares y la presión capilar contenida en el material.

Para determinar las propiedades anteriormente descritas existen los siguientes ensayos de laboratorio: corte directo, compresión triaxial y compresión simple. En esta investigación se realizaron ensayos de corte directo.

3.5.1. Ensayo de Corte Directo.[16]

El objetivo principal de este ensayo, es determinar la resistencia de una muestra de suelo, la cual es sometida a esfuerzos que simulen los que tiene o tendrá en terreno producto de una carga.

Los esfuerzos que simula dicho ensayo son el esfuerzo normal y de corte en el plano de falla, para determinarlos en el laboratorio es necesario utilizar el aparato de corte directo, siendo este por lo general cuadrado de 6 x 6 cm, pero es necesario preparar la muestra con anterioridad, según las especificaciones del ensayo, debido a que existen tres tipos de ensayo los cuales se clasifican de la siguiente manera:

- Ensayo no consolidado no drenado (UU). Se impide la consolidación por medio de la carga normal, buscando que esté totalmente saturada evitando perdida de agua. Es aplicable a suelos finos de baja permeabilidad, es decir en arcillas;
- Ensayo consolidado no drenado (CU). Para este caso se consolida por medio de la carga normal de modo que en el momento de aplicar el esfuerzo de corte los poros estén totalmente cerrados. Este ensayo no se usa en suelos permeables.
- Ensayo consolidado drenado (CD). Lo más importante es la velocidad, ya que debe ser aplicada de manera lenta y así permitir el drenaje de la muestra durante todo el ensayo.

Para el proyecto de grado se utilizó el ensayo no consolidad no drenado (UU), debido a que el material con el cual se trabajo es una arcilla.

[16] Reunión de Ingenieros, Mecánica de suelos. Barcelona, España: editores técnicos asociados, s.a, 1975. P.63-66.

Figura 8.Ensayo corte directo.

Fuente. Autor.

3.6. FIBRA DE POLIPROPILENO (FIBRATEX)

Son fibras las cuales se producen por un proceso de extrusión en el cual el material caliente surge por unas aberturas circulares, generando una gran cantidad de filamentos continuos.

Figura 9. Tipos de fibras sintéticas y propiedades.

Tipo de fibra	Diámetro equivalente 10-3 x in.	Densidad	Resistencia a la tensión KSI	Módulo elástico PSI	Elongación última %	Temperatura de ignición F°	Temperatura fusión, descomposición u oxidación (F°)	Absorción de agua ASTM D 570 % en peso
Acrílica	0.5 - 4.1	1.16 - 1.18	39 - 145	2000 - 2800	7.5 - 50		430 - 455	1.0 - 2.5
Nylon	0.9	1.14	140	750	20		392 - 430	2.8 - 5.0
Poliéster	0.78	1.34 - 1.39	33 - 160	2500	12 - 150	1100	495	0.4
Polietileno	1.0 - 40	0.92 - 0.96	11 - 85	725	3 - 80		273	despreciable
Polipropileno		0.90 - 0.91	20 - 100	500 - 700	15	1100	330	despreciable

Fuente. TESICOL.

3.6.1. CARACTERÍSTICAS FISICO-QUIMICAS

- Material 100% polipropileno virgen.
- Tipo: Fibra o cinta fibrilada ordenada.
- Gravedad específica 0.91G/cm3
  (Según Norma ASTM-D1505)
- Color Natural
- Índice de Fluidez
  (Según Norma ASTM-D1505)
- Punto de fusión 166°C(300°F)
- Punto de Ignición 590°C(1100°F)
- Resistencia química a bases y agentes oxidantes Inerte*
- Resistencia química a los ácidos y álcalis Inerte*
- Resistencia al moho y micro organismos Buena*
- Absorción de agua 20°C Ninguna
- Corte de fibra ½, ¾, 1, 1 ½, 2 ½

* En conformidad con la norma ASTM C-1116

3.6.2. CARACTERÍSTICAS MECANICAS

- Resistencia a la tensión 80 K.S.I.
  (Según norma ASTM D-2936)
- Resistencia a la tracción 70.000 p.s.i
  (Según norma ASTM D-638)
- Módulo de elasticidad 0,70 x 106
  (Según norma ASTM C-459)
- Elongación hasta el rompimiento 8% (min)
  (Según norma ASTM 638)
- Resistencia a la abrasión Buena
  (Según norma ASTM C-944)

Conductividad térmica y eléctrica Baja

4. METODOLOGÍA.

4.1. RECOPILACION DE BIBLIOGRAFIA:

En este proyecto se realizó una recolección de información donde se consultaron medios como el internet, libros y trabajos de grados ya realizados que facilitaron los fundamentos y conceptos investigativos para soportar el presente trabajo.

4.2. BUSQUEDA DEL MATERIAL:

Teniendo en cuenta los tipos de suelos ya estudiados en las investigaciones realizadas anteriormente, se determinó que de las tres fuentes estudiadas de suelo, el material óptimo para esta investigación era el procedente de la ladrillera el cuatro de San Pablo sur de Bolívar. Arrojando un resultado de clasificación arcilla de alta plasticidad (CH).

4.3. RECOLECION Y PREPARACION DE LA FIBRA (FIBRATEX).

La fibra de polipropileno (fibratex) se consiguió en la empresa TESICOL, la cual obsequió la cantidad necesaria para el proyecto. Después de tenerla se procedió a preparar la fibra en las longitudes requeridas para los porcentajes necesarios, se cortó en longitudes de 3/8 pulg, 3/4 pulg, 6/5 pulg, porcentajes de 0.25%, 0.50% y 0.75%, para realizar los ensayos con suelo reforzado.

4.4. ENSAYOS DE LABORATORIO:

Para los materiales provenientes de las fuentes escogidas, se realizaran 3 ensayos de granulometría y límites de plasticidad para su clasificación. Una vez realizados los ensayos de clasificación, se escogió una arcilla de alta plasticidad perteneciente al grupo CH del Sistema Unificado de Clasificación.

Ya conociendo el tipo de suelo, se realizaron 3 ensayos de compactación Proctor modificado para conocer la humedad óptima y el peso específico seco máximo del material seleccionado.

Una vez conocida la humedad óptima del suelo se procedió a realizar ciento veinte (120) ensayos de corte directo, realizados y distribuidos de la siguiente manera: 15 ensayos al suelo natural, 45 con fibra de 3/8 pulg en porcentajes de 0.25%,0.50%,0.75%, 45 con fibra de 3/4 pulg en porcentajes de 0.25%,0.50%,0.75%, 15 con fibra de 6/5 pulg en porcentajes de 0.25%,0.50%,0.75%.

Todos los ensayos de corte directo se realizaron sobre muestras compactadas con la humedad óptima con ayuda de la máquina compactadora.

Se realizaron los ensayos con suelo reforzado, mezclando el suelo natural con la cantidad de fibra necesaria dependiendo de su porcentaje. Después se procedió a compactarlo con humedad óptima (ya calculada en los ensayos previos). Luego se introducían los moldes de corte a presión con un gato hidráulico, posteriormente se extraían y finalmente se llevaban a prueba en el aparato de corte directo para determinar los parámetros de resistencia como la cohesión y el ángulo de fricción interna. De esta manera se realizaron los 15 ensayos al suelo sin refuerzo y los 105 al suelo reforzado distribuido.

4.5. RECOLECCION DE DATOS.

La recolección de la información arrojada por los ensayos obtenidos se hizo al mismo tiempo de la ejecución de estos. Registrándolos en una tabla manual para después ejecutarlos en una tabla electrónica, arrojando los parámetros de la cohesión y ángulo de fricción. En suelo natural y en suelo reforzado con fibratex.

4.6. ANALISIS DE RESULTADOS.

Con los resultados de ángulo de fricción obtenidos en todos los ensayos de corte directo se construyeron graficas comparativas, de las cuales se determinó la longitud y porcentaje óptimos de fibra (los cuales corresponden a aquellos con los que se obtuvo el mayor aumento del ángulo de fricción interna). También se estudió la variación de la cohesión con los diferentes porcentajes y longitudes de fibra.

5. RESULTADOS

5.1. RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN.

Después de realizar los ensayos correspondientes de clasificación del suelo, (granulometría, límite líquido, límite plástico y límite de contracción) a las muestras de las diferentes fuentes de material. Se obtuvieron los siguientes resultados:

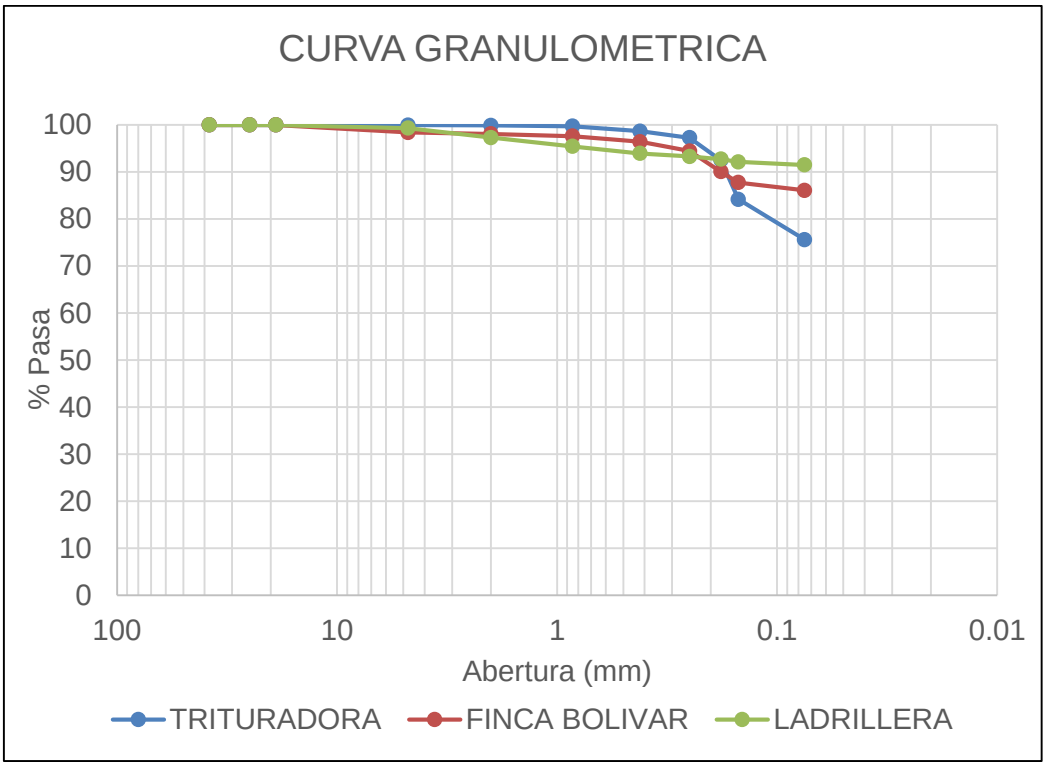
Tabla 1. Resultados ensayo de granulometría.

MUESTRA	ENSAYO	% GRAVAS	% ARENAS	% FINOS
Trituradora	1	0.04	24.42	75.54
Finca Bolívar	2	1.61	12.34	86.05
Ladrillera	3	0.684	7.852	91.464

Fuente: Autor.

Cada una de las muestras contiene un gran porcentaje de finos los cuales superan el 70 %, mientras que los porcentajes de gravas y arenas no superan el 2% y el 15 % respectivamente, por ende fue necesario analizar los resultados de los límites líquidos y plástico.

Figura 10. Curvas Granulométricas.



Fuente. Autor.

Tabla 2. Resultados límites de plasticidad.

MUESTRA	ENSAYO	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)
Trituradora	1	35.42	17.50	17.92
Finca Bolívar	2	56.63	28.42	28.21
Ladrillera	3	85.74	34.63	51.11

Fuente. Autor.

Con los datos obtenidos en los ensayos de límites de plasticidad y la ayuda de la carta de plasticidad de Casagrande, se observa que la muestra de la trituradora, al entrar a dicha carta, con un LL=35.42% y un IP=17.92% se encuentra por encima de la línea A, es decir se encuentra en la zona de las arcillas, por lo cual se le asigna la letra C (*Clay*). Pero también se encuentra al lado izquierdo de la gráfica por lo que se le asigna la letra L (media compresibilidad), entonces dicha muestra es una arcilla de baja compresibilidad [CL].

La muestra de la finca Bolívar, con un LL=56.63% y un IP=28.21% se encuentra por encima de la línea A, por lo que se le asigna la letra C (*Clay*), pero a diferencia de la muestra anteriormente descrita se encuentra al lado derecho de la carta, motivo por el cual se establece la letra H (alta compresibilidad). En resumen la muestra es una arcilla de alta compresibilidad [CH].

La muestra tomada de la ladrillera el cuatro, con un LL=85.74% y un IP=51.11% se encuentra ubicado en la parte superior de la línea A, por lo cual se le asigna la letra C (*Clay*), al igual que la muestra tomada de la finca Bolívar se encuentra al lado derecho de la carta de plasticidad, es decir cuenta con una alta compresibilidad (H), en conclusión el suelo es una arcilla de alta compresibilidad [CH]. Con estos mismos valores de gradación y límites de plasticidad se encontró que el suelo tomado de la ladrillera el cuatro pertenece al grupo A-7-5 según el método AASHTO.

Se decide usar en el proyecto de grado el suelo tomado de la ladrillera “el cuatro”, dicho material fue escogido debido a que no se ha utilizado en ninguna de las investigaciones anteriores, pero se descarta el material tomado de la finca Bolívar, ya que la cantidad de finos es menor en comparación con el utilizado para este proyecto al igual que su índice de plasticidad.

Los ensayos complementarios mostrados a continuación fueron realizados al suelo de la fuente de material ladrillera “el cuatro”, ya que ese fue con el que se decidió realizar el proyecto de grado.

Tabla 3. Resultados ensayos de límites de contracción.

Capsula N°	Límite de Contracción (%)	Relación de contracción (Sr)
8	6.81	1.99
13	6.99	1.96
Promedio	**6.90**	**1.98**

Fuente. Autor.

Se obtuvo un límite de contracción de 6.90%.

Tabla 4. Presión de expansión.

Muestra	1
Presión de Expansión (kg/cm²)	12.298
Presión de Expansión (Mpa)	1.206
Humedad (%)	37,37

Fuente. Autor.

La presión de expansión fue de 1.206 Mpa.

Tabla 5. Expansión libre.

Muestra	1
Expansión Libre (%)	37.83
Humedad	38.6

Fuente. Autor.

La expansión libre fue de 37.83% con una humedad de saturación de 38.6 %

Tabla 6. Permeabilidad cabeza variable.

K20 (cm/seg)	2.94x10-6
Peso Específico γ (g/cm3)	2.05

Fuente. Autor.

El K20 es de 2.94x10-6.

5.2. RESULTADOS DE COMPACTACIÓN.

Se realizaron 3 ensayos de compactación, tipo Proctor Modificado, para conocer la humedad óptima de compactación y la densidad específica seca máxima del suelo.

Tabla 7. Resultados ensayo de compactación.

Ensayo	γd (g/cm^3)	ω (%)
1	1.65	17.8
2	1.649	18
3	1.65	18.4
Promedio	**1.65**	**18.1**

Fuente. Autor.

De los anteriores 3 ensayos de compactación se obtuvo una humedad óptima promedio de 18.1% y una densidad específica seca máxima promedio de 1.65 g/cm^3.

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

Se realizaron 15 ensayos de corte directo al suelo en estado natural (sin refuerzo). En la realización de estos ensayos el suelo fue secado al horno, para compactarlo con la humedad óptima en los moldes Proctor modificado con la ayuda de la máquina de compactación. Luego se introducían los moldes de corte a presión con un gato hidráulico, posteriormente se extraían y finalmente se llevaban a prueba en el aparato de corte directo. Los ensayos fueron realizados con esfuerzos normales de 0.5Kg/cm^2 ,1 Kg/cm^2 y 2 Kg/cm^2, respectivamente para cada uno de los cortes.

Tabla 8. Cuadro resumen de ensayos de corte directo del suelo sin refuerzo.

ENSAYO	ÁNGULO DE FRICCION ϕ	COHESIÓN Kg/cm^2	γ (g/cm^3)	γd (g/cm^3)	ω (%)
1	31.3	0.6700	1.97	1.66	18.6
2	32.9	1.2953	1.99	1.68	18.4
3	30.7	1.2258	2.00	1.69	18.3
4	30.7	1.1865	2.09	1.77	18.2
5	31.4	1.0519	2.03	1.71	18.6
6	27.2	1.2081	2.07	1.75	18.5
7	33.8	0.8908	1.99	1.68	18.5

ENSAYO	ÁNGULO DE FRICCION ϕ	COHESIÓN Kg/cm²	γ (g/cm³)	γd (g/cm³)	ω (%)
8	32.9	0.8997	1.94	1.64	18.5
9	30.8	0.9095	1.95	1.64	18.5
10	31.0	0.8005	2.00	1.69	18.4
11	31.3	0.6700	1.97	1.66	18.6
12	30.5	0.6874	2.00	1.69	18.6
13	31.4	1.0519	2.03	1.71	18.6
14	31.3	0.6700	1.97	1.66	18.6
15	31.5	0.9238	1.94	1.64	18.5
PROMEDIO	**31.3**	**0.9**	**2.0**	**1.7**	**18.5**
DESVIACIÓN	**1.47**	**0.22**	**0.05**	**0.04**	**0.13**
COEFICIENTE DE VARIACION (%)	**4.71%**	**23.25%**	**2.27%**	**2.30%**	**0.68%**

En la tabla 8 se puede apreciar los promedios de los parámetros de resistencia al corte del suelo natural sin refuerzo. Un ángulo de fricción interna promedio de 31.3° con una desviación estándar correspondiente a 1.47° y una cohesión promedio de 0.9 Kg/cm^2 con desviación estándar de 0.22 Kg/cm^2.

5.4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REFORZANDO EL SUELO CON FIBRA DE POLIPROPILENO (FIBRATEX).

Se preparó la fibra cortándola en las longitudes de 3/8 pulg, 3/4 pulg, y 6/5 pulg en diferentes porcentajes del peso del suelo (0.25%, 0.50%, 0.75%). Realizando 15 ensayos de corte directo para cada porcentaje, con excepción de la longitud de fibra de 6/5 pulg para la cual solo se realizaron 5 pruebas por cada porcentaje, debido a que los antecedentes de otras investigaciones señalaban que con esta longitud no tiende a mejorar el suelo. El proceso de ejecución de los ensayos es el mismo al suelo sin refuerzo, pero con la adición de la fibra de polipropileno (fibratex).

Resultados de los ensayos de corte directo realizados a muestras de suelo con refuerzo de longitud de 3/8 pulg y porcentaje de 0.25%.

En la tabla 9 se presentaran los resultados de los 15 ensayos realizados de corte directo en suelo reforzados con fibratex con una longitud de 3/8 pulg y porcentaje del 0.25% del peso.

Tabla 9. Cuadro resumen de los ensayos de corte directo, en suelo reforzado con fibratex de 3/8 pulg de longitud y 0.25% en peso.

ENSAYO	ÁNGULO DE FRICCION ϕ	COHESIÓN Kg/cm^2	γ (g/cm^3)	γd (g/cm^3)	ω (%)
1	32.1	0.9238	1.97	1.67	18.2
2	33.4	0.7979	1.86	1.58	18.2
3	32.3	0.5750	1.78	1.50	18.4
4	31.4	0.9006	1.81	1.53	18.3
5	31.4	0.5500	1.80	1.52	18.6
6	30.9	0.8319	1.85	1.56	18.5
7	30.8	1.0279	1.84	1.55	18.5
8	30.0	1.0148	2.39	2.02	18.6
9	31.6	1.0368	1.86	1.57	18.6
10	30.4	0.8830	1.85	1.56	18.4
11	33.4	0.7979	1.86	1.58	18.6
12	32.3	0.5750	1.78	1.5	18.4
13	31.4	0.5500	1.80	1.52	18.6
14	30.8	1.0279	1.84	1.55	18.5
15	31.6	1.0368	1.86	1.57	18.6
PROMEDIO	**31.6**	**0.8**	**1.9**	**1.58**	**17.4**
DESVIACIÓN	**0.98**	**0.19**	**0.15**	**0.13**	**4.29**
COEFICIENTE DE VARIACION (%)	**3.10%**	**22.69%**	**8.02%**	**8.02%**	**24.71%**

En la tabla 9 se pueden apreciar los promedios de los parámetros de resistencia al corte del suelo reforzado con fibratex. El ángulo de fricción interna promedio es de 31.6° con una desviación estándar de 0.98° y cohesión promedio de 0.8 Kg/cm^2 con desviación estándar de 0.19 Kg/cm^2.

Resultados de los ensayos de corte directo realizados a muestras de suelo con refuerzo de longitud de 3/8 pulg y porcentaje de 0.50%.

En la tabla 10 se presentan los resultados de los 15 ensayos realizados de corte directo en suelo reforzados con fibratex con una longitud de 3/8 pulg y porcentaje del 0.50% del peso.

Tabla 10. Cuadro resumen de los ensayos de corte directo, en suelo reforzado con fibratex de 3/8 pulg de longitud y 0.50% en peso.

ENSAYO	ÁNGULO DE FRICCION ϕ	COHESIÓN Kg/cm^2	γ (g/cm^3)	γd (g/cm^3)	ω (%)
1	30.4	0.9145	1.86	1.58	18.2
2	33.1	0.8546	1.79	1.51	18.2
3	31.9	0.9783	1.78	1.50	18.4
4	28.9	1.2533	1.88	1.59	18.3
5	30.4	0.9867	1.77	1.50	18.6
6	31.3	0.7422	1.81	1.52	18.5
7	34.7	0.8146	1.82	1.54	18.5
8	41.6	0.5149	1.36	1.15	18.6
9	34.3	0.8767	1.82	1.54	18.6
10	31.3	0.9721	1.83	1.55	18.4
11	30.4	0.9145	1.86	1.58	18.2
12	31.9	0.9783	1.78	1.50	18.4
13	30.4	0.9867	1.77	1.50	18.6
14	31.3	0.7422	1.81	1.52	18.5
15	41.6	0.5149	1.36	1.15	18.6
PROMEDIO	**32.9**	**0.9**	**1.8**	**1.5**	**18.5**
DESVIACIÓN	**3.86**	**0.19**	**0.16**	**0.14**	**0.16**
COEFICIENTE DE VARIACION (%)	**11.72%**	**21.74%**	**9.22%**	**9.28%**	**0.84%**

En la tabla 10 se pueden apreciar los promedios de los parámetros de resistencia al corte del suelo reforzado con fibratex. El ángulo de fricción interna promedio es de 32.9° y una desviación estándar correspondiente a 3.86° y cohesión promedio de 0.9 Kg/cm^2 con desviación estándar de 0.19 Kg/cm^2.

Resultados de los ensayos de corte directo realizados a muestras de suelo con refuerzo de longitud de 3/8 pulg y porcentaje de 0.75%.

En la tabla 11 se presentan los resultados de los 15 ensayos realizados de corte directo en suelo reforzados con fibratex con una longitud de 3/8 pulg y porcentaje del 0.75% del peso.

Tabla 11. Cuadro resumen de los ensayos de corte directo, en suelo reforzado con fibratex de 3/8 pulg de longitud y 0.75% en peso.

ENSAYO	ÁNGULO DE FRICCION ϕ	COHESIÓN Kg/cm^2	γ (g/cm^3)	γd (g/cm^3)	ω (%)
1	27.7	0.8272	1.81	1.53	18.2
2	35.6	0.6847	1.82	1.54	18.3
3	30.7	0.5921	1.80	1.52	18.3
4	34.3	0.5244	1.76	1.49	18.3
5	32.6	0.6515	1.78	1.51	18.5
6	31.2	1.2770	1.88	1.59	18.4
7	34.6	0.7352	1.85	1.56	18.5
8	29.8	3/8 pulg17	1.76	1.48	18.5
9	34.4	0.5737	1.79	1.51	18.5
10	30.7	0.9940	1.82	1.54	18.4
11	31.3	0.6700	1.97	1.66	18.6
12	30.5	0.6874	1.97	1.69	18.6
13	31.4	1.0519	1.82	1.51	18.6
14	31.3	0.6700	1.97	1.66	18.6
15	34.0	0.8799	1.94	1.64	18.5
PROMEDIO	**32.0**	**0.8**	**1.8**	**1.6**	**18.4**
DESVIACIÓN	**2.17**	**0.21**	**0.08**	**0.07**	**0.12**
COEFICIENTE DE VARIACION (%)	**6.79%**	**26.64%**	**4.18%**	**4.41%**	**0.65%**

En la tabla 11 se pueden apreciar los promedios de los parámetros de resistencia al corte del suelo reforzado con fibratex. El ángulo de fricción interna promedio es de 32.0° y una desviación estándar correspondiente a 2.17° y cohesión promedio de 0.8 Kg/cm^2 con desviación estándar de 0.21 Kg/cm^2.

Resultados de los ensayos de corte directo realizados a muestras de suelo con refuerzo de longitud de 3/4 pulg y porcentaje de 0.25%.

En la tabla 12 se presentan los resultados de los 15 ensayos realizados de corte directo en suelo reforzados con fibratex con una longitud de 3/4 pulg y porcentaje del 0.25 % del peso.

Tabla 12. Cuadro resumen de los ensayos de corte directo, en suelo reforzado con fibratex de 3/4 pulg de longitud y 0.25% en peso.

ENSAYO	ÁNGULO DE FRICCION ϕ	COHESIÓN Kg/cm^2	γ (g/cm^3)	γd (g/cm^3)	ω (%)
1	34.2	1.2929	1.24	1.05	18.5
2	35.0	1.1316	1.24	1.05	18.6
3	33.7	0.9431	1.89	1.60	18.6
4	33.4	0.9469	1.83	1.54	18.6
5	34.0	0.8958	1.87	1.58	18.4
6	34.0	0.9449	1.72	1.45	18.4
7	33.8	0.9455	1.82	1.54	18.5
8	33.8	1.3764	1.82	1.54	18.5
9	34.8	1.1527	1.86	1.57	18.3
10	33.7	0.9326	1.82	1.53	18.5
11	33.6	0.8166	1.71	1.45	18.2
12	34.0	0.9625	1.83	1.54	18.6
13	34.0	1.1952	1.86	1.57	18.3
14	35.4	0.9455	1.82	1.54	18.5
15	36.5	1.1033	1.82	1.54	18.5
PROMEDIO	**34.3**	**1.0**	**1.7**	**1.5**	**18.5**
DESVIACIÓN	**0.82**	**0.16**	**0.21**	**0.18**	**0.12**
COEFICIENTE DE VARIACION (%)	**2.41%**	**15.42%**	**11.97%**	**11.99%**	**0.65%**

En la tabla 12 se pueden apreciar los promedios de los parámetros de resistencia al corte del suelo reforzado con fibratex. El ángulo de fricción interna promedio es de 34.3° y una desviación estándar correspondiente a 0.82° y cohesión promedio de 1.0 Kg/cm^2 con desviación estándar de 0.16 Kg/cm^2.

Resultados de los ensayos de corte directo realizados a muestras de suelo con refuerzo de longitud de 3/4 pulg y porcentaje de 0.50%.

En la tabla 13 se presentaran los resultados de los 15 ensayos realizados de corte directo en suelo reforzados con fibratex con una longitud de 3/4 pulg y porcentaje del 0.50% del peso.

Tabla 13. Cuadro resumen de los ensayos de corte directo, en suelo reforzado con fibratex de 3/4 pulg de longitud y 0.50% en peso.

ENSAYO	ÁNGULO DE FRICCION ϕ	COHESIÓN Kg/cm^2	γ (g/cm^3)	γd (g/cm^3)	ω (%)
1	37.4	1.0223	1.97	1.67	18.3
2	38.1	1.0977	1.97	1.67	18.0
3	38.0	1.1628	1.99	1.68	18.4
4	38.4	1.1091	1.98	1.67	18.3
5	40.7	0.9952	1.96	1.66	18.6
6	45.0	0.7784	1.97	1.79	18.5
7	34.4	0.8496	1.80	1.52	18.3
8	37.6	0.5863	1.84	1.55	18.6
9	36.6	0.7409	1.87	1.58	18.6
10	36.7	0.7102	1.79	1.51	18.6
11	35.4	0.5142	1.97	1.66	18.6
12	38.6	0.5401	2.00	1.69	18.6
13	40.1	0.8381	2.03	1.71	18.6
14	37.6	0.4749	1.97	1.66	18.6
15	37.9	0.8799	1.94	1.64	18.5
PROMEDIO	**38.2**	**0.8**	**1.9**	**1.6**	**18.5**
DESVIACIÓN	**2.45**	**0.23**	**0.07**	**0.07**	**0.17**
COEFICIENTE DE VARIACION (%)	**6.43%**	**27.66%**	**3.82%**	**4.47%**	**0.92%**

En la tabla 13 se pueden apreciar los promedios de los parámetros de resistencia al corte del suelo reforzado con fibratex. El ángulo de fricción interna promedio es de 38.2° y una desviación estándar correspondiente a 2.45° y cohesión promedio de 0.8 Kg/cm^2 con desviación estándar de 0.23 Kg/cm^2.

Resultados de los ensayos de corte directo realizados a muestras de suelo con refuerzo de longitud de 3/4 pulg y porcentaje de 0.75%.

En la tabla 14 se presentaran los resultados de los 15 ensayos realizados de corte directo en suelo reforzados con fibratex con una longitud de 3/4 pulg y porcentaje del 0.75% del peso.

Tabla 14. Cuadro resumen de los ensayos de corte directo, en suelo reforzado con fibratex de 3/4 pulg de longitud y 0.75 % en peso.

ENSAYO	ÁNGULO DE FRICCION ϕ	COHESIÓN Kg/cm^2	γ (g/cm^3)	γd (g/cm^3)	ω (%)
1	33.3	0.9048	1.69	1.42	18.7
2	32.4	0.9926	1.79	1.52	18.3
3	32.5	0.9834	1.68	1.41	19.6
4	32.5	0.8251	1,06	0.89	18.6
5	34.6	0.8962	1.78	1.50	18.6
6	25.8	0.7339	1.75	1.47	18.5
7	44.8	1.0596	1.76	1.49	18.4
8	45.7	0.7332	1.77	1.49	18.6
9	23.0	1.2469	1.70	1.44	18.5
10	31.0	0.8005	1.91	1.61	18.4
11	32.9	0.8352	1.97	1.66	18.6
12	33.3	0.9048	1.69	1.42	18.7
13	32.5	0.9834	1.68	1.43	18.2
14	34.6	0.8962	1.78	1.50	18.6
15	33.6	0.7552	1.91	1.61	18.4
PROMEDIO	**33.5**	**0.9**	**1.8**	**1.5**	**18.6**
DESVIACIÓN	**5.73**	**0.14**	**0.47**	**0.17**	**0.31**
COEFICIENTE DE VARIACION (%)	**17.11%**	**15.21%**	**26.31%**	**11.98%**	**1.69%**

En la tabla 14 se pueden apreciar los promedios de los parámetros de resistencia al corte del suelo reforzado con fibratex. El ángulo de fricción interna promedio es de 33.5° y una desviación estándar correspondiente a 5.73° y cohesión promedio de 0.9 Kg/cm^2 con desviación estándar de 0.14 Kg/cm^2.

Resultados de los ensayos de corte directo realizados a muestras de suelo con refuerzo de longitud de 6/5 pulg y porcentaje de 0.25%.

En la tabla 15 se presentaran los resultados de los 5 ensayos realizados de corte directo en suelo reforzados con fibratex con una longitud de 6/5 pulg y porcentaje del 0.25% del peso.

Tabla 15. Cuadro resumen de los ensayos de corte directo, en suelo reforzado con fibratex de 6/5 pulg de longitud y 0.25% en peso.

ENSAYO	ÁNGULO DE FRICCION ϕ	COHESIÓN Kg/cm^2	γ (g/cm^3)	γd (g/cm^3)	ω (%)
1	23.9	0.7672	1.89	1.59	18.3
2	21.3	0.7757	1.97	1.67	18.3
3	43.7	0.2271	1.99	1.68	18.3
4	28.8	0.7788	1.98	1.67	18.4
5	44.9	0.7928	1.96	1.66	18.5
PROMEDIO	**32.5**	**0.7**	**2.0**	**1.7**	**18.4**
DESVIACIÓN	**11.09**	**0.25**	**0.04**	**0.04**	**0.10**
COEFICIENTE DE VARIACION (%)	**34.11%**	**36.93%**	**2.02%**	**2.20%**	**0.52%**

En la tabla 15 se pueden apreciar los promedios de los parámetros de resistencia al corte del suelo reforzado con fibratex. El ángulo de fricción interna promedio es de 32.5° y una desviación estándar correspondiente a 11.09° y cohesión promedio de 0.7 Kg/cm^2 con desviación estándar de 0.25 Kg/cm^2.

Resultados de los ensayos de corte directo realizados a muestras de suelo con refuerzo de longitud de 6/5 pulg y porcentaje de 0.50%.

En la tabla 16 se presentaran los resultados de los 5 ensayos realizados de corte directo en suelo reforzados con fibratex con una longitud de 6/5 pulg y porcentaje del 0.50% del peso.

Tabla 16. Cuadro resumen de los ensayos de corte directo, en suelo reforzado con fibratex de 6/5 pulg de longitud y 0.50% en peso.

ENSAYO	ÁNGULO DE FRICCION ϕ	COHESIÓN Kg/cm^2	γ (g/cm^3)	γd (g/cm^3)	ω (%)
1	26.7	0.9995	1.96	1.66	18.2
2	25.6	0.7989	1.76	1.49	18.1
3	30.3	0.7044	1.77	1.50	18.4
4	38.3	0.9908	1.79	1.52	18.4
5	44.9	1.2432	1.84	1.55	18.6
PROMEDIO	**33.2**	**0.9**	**1.8**	**1.5**	**18.3**
DESVIACIÓN	**8.24**	**0.21**	**0.08**	**0.07**	**0.19**
COEFICIENTE DE VARIACION (%)	**24.84%**	**21.96%**	**4.50%**	**4.45%**	**1.06%**

En la tabla 16 se pueden apreciar los promedios de los parámetros de resistencia al corte del suelo reforzado con fibratex. El ángulo de fricción interna promedio de 33.2° y una desviación estándar correspondiente a 8.24° y cohesión promedio de 0.9 Kg/cm^2 con desviación estándar de 0.21 Kg/cm^2.

Resultados de los ensayos de corte directo realizados a muestras de suelo con refuerzo de longitud de 6/5 pulg y porcentaje de 0.75%.

En la tabla 17 se presentaran los resultados de los 5 ensayos realizados de corte directo en suelo reforzados con fibratex con una longitud de 6/5 pulg y porcentaje del 0.75% del peso.

Tabla 17. Cuadro resumen de los ensayos de corte directo, en suelo reforzado con fibratex de 6/5 pulg de longitud y 0.75% en peso.

ENSAYO	ÁNGULO DE FRICCION ϕ	COHESIÓN Kg/cm^2	γ (g/cm^3)	γd (g/cm3)	ω (%)
1	28.3	0.7665	1.83	1.55	18.3
2	32.2	0.5815	1.66	1.40	18.5
3	35.1	0.5873	1.76	1.49	18.4
4	30.2	0.7453	1.73	1.46	18.4
5	33.3	0.6515	1.60	1.35	18.7
PROMEDIO	**31.8**	**0.7**	**1.7**	**1.5**	**18.5**
DESVIACIÓN	**2.65**	**0.09**	**0.09**	**0.08**	**0.15**
COEFICIENTE DE VARIACION (%)	**8.33%**	**12.98%**	**5.19%**	**5.36%**	**0.82%**

En la tabla 17 se pueden apreciar los promedios de los parámetros de resistencia al corte del suelo reforzado con fibratex. El ángulo de fricción interna promedio es de 31.8° y una desviación estándar correspondiente a 2.65° y cohesión promedio de 0.7 Kg/cm^2 con desviación estándar de 0.09 Kg/cm^2.

6. ANALISIS DE RESULTADOS.

6.1. LIMITE DE CONTRACCIÓN

El límite de contracción de la arcilla de alta plasticidad analizada en el trabajo de grado dio 6.90%, el cual según la tabla 18 presentada a continuación, este suelo tiene un cambio volumétrico alto.

Tabla 18. Rangos de límites de contracción.

Cambio de Volumen	Límite de Contracción
Bajo	≥12
Bajo a Medio	10-12
Medio a Alto	≤10

Fuente. Mecánica de suelos y cimentaciones.[17]

6.2. PRESIÓN DE EXPANSIÓN.

El valor de la presión de expansión indica que tanta fuerza puede hacer el suelo por unidad de área al saturarse y ponerse en contacto con una estructura, si dicha presión es mayor que la transmitida por su cimentación, esto podría producir daños estructurales.

Tabla 19. Clasificación de la expansión del suelo.

Potencial de Expansión	Presión de Expansión (kg/cm2)
Bajo	< 0.2
Medio	0.2-0.5
Alto	> 0.5

Fuente. Crespo V, suelos y cimentaciones

El suelo que se analizó, el cual es una arcilla de alta plasticidad [CH], llega a ejercer una presión de **12.3 kg/cm^2**, teniendo en cuenta la clasificación de la expansión del suelo en la tabla 19, el suelo tiene un potencial de expansión alto.

[17] Crespo v., Carlos. Plasticidad de los suelos. En Mecanica de suelos y cimentaciones: 4 ed Mexico. Editorial Limusa Noriega Editores. 1999. p86

6.3. EXPANSIÓN LIBRE.

El valor de expansión libre corresponde a la deformación que sufre una muestra de suelo con respecto a su altura inicial al saturarse. La tabla 20 muestra el potencial de expansión del suelo de acuerdo con la expansión libre obtenida en el laboratorio.

Tabla 20. Potencial de expansión.

Potencial de Expansión	Expansión Libre (%)
Bajo	< 1.5
Medio	1.5 - 5.0
Alto	> 25

Fuente. Crespo V, suelos y cimentaciones

El material analizado tiene una expansión libre de **37.83%**, según la tabla 20 su potencial de expansión es Alto.

6.4. PERMEABILIDAD.

La permeabilidad hace referencia a la velocidad que tiene un fluido para penetrar un suelo, las arenas cuentan con una mayor circulación de líquidos a través de ella, en comparación con las arcillas.

Tabla 21. Coeficiente de permeabilidad según el tipo de suelo.

<table>
<tr><th>Tipo de Suelo</th><th>Grado Relativo de Permeabilidad</th><th>Coeficiente de Permeabilidad K (cm/seg)</th><th>Propiedades de Drenaje</th></tr>
<tr><td>Grava Limpia</td><td>Alto</td><td>$1x10^{2}$ - 1x10</td><td rowspan="3">Buen Drenaje</td></tr>
<tr><td>Arena Limpia</td><td rowspan="2">Medio</td><td rowspan="2">$1x10 - 1x10^{-3}$</td></tr>
<tr><td>Grava Arenosa</td></tr>
<tr><td>Arena Fina</td><td rowspan="2">Bajo</td><td rowspan="2">$1x10^{-3} - 1x10^{-7}$</td><td rowspan="2">Mal Drenaje</td></tr>
<tr><td>Limos</td></tr>
<tr><td>Arcilla Estratificada</td><td>Muy Bajo</td><td rowspan="2">$1x10^{-7} - 1x10^{-9}$</td><td rowspan="2">Prácticamente Impermeable</td></tr>
<tr><td>Arcilla Homogénea</td><td>Muy Bajo o Prácticamente Impermeable</td></tr>
</table>

Fuente. Eulalio Badillo, Fundamentos de la mecánica de suelo.[18]

[18] Juarez B., Eulalio. Permeabilidad. Fundamentos de la mecánica de suelos: 4 ed Mexico. Editorial Limusa Noriega Editores. 1999. p86

El suelo estudiado tiene un coeficiente de permeabilidad K 20=2.94x10^{-6} cm/seg. Según la tabla 21 confirma que es una arcilla, tiene un grado relativo de permeabilidad muy bajo y cuenta con un mal drenaje.

6.5. CORTE DIRECTO.

Luego de ejecutar los ensayos de corte directo, tanto en suelo natural como reforzado, y compactados a la humedad óptima, se realizaron graficas las cuales permiten un mejor análisis de resultados del trabajo de grado.

En las siguientes tablas se muestran los promedios del ángulo de fricción interna, y la cohesión obtenidos en todos los ensayos realizados en el proyecto.

Tabla 22. Resumen ángulos de fricción interna.

Angulo de Fricción interna (°)			
PROPORCIÓN %	**Longitud (pulg)**		
	3/8	**3/4**	**6/5**
0	31.3	31.3	31.3
0.25	31.6	34.3	32.5
0.5	32.9	38.2	33.2
0.75	32.0	33.5	31.8

Fuente. Autor.

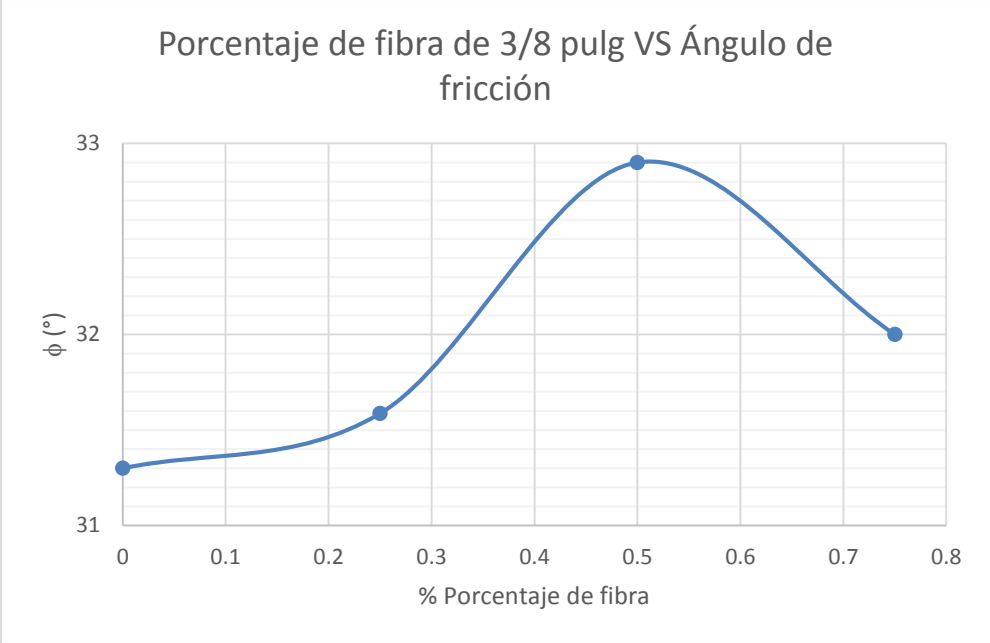
Tabla 23. Resumen de la cohesión.

COHESION			
PROPORCIONES (%)	**LONGITUD (pulg)**		
	3/8	**3/4**	**6/5**
0	0.943	0.943	0.943
0.25	0.835	1.039	0.668
0.5	0.870	0.820	0.947
0.75	0.785	0.903	0.666

Fuente autor.

En la siguiente figura se muestran los resultados del ángulo de fricción para los diferentes porcentajes de fibra (0.25%,0.50%,0.75%) en la longitud de 3/8 pulg.

Figura 11. Porcentaje de fibra VS ángulo de fricción interna.

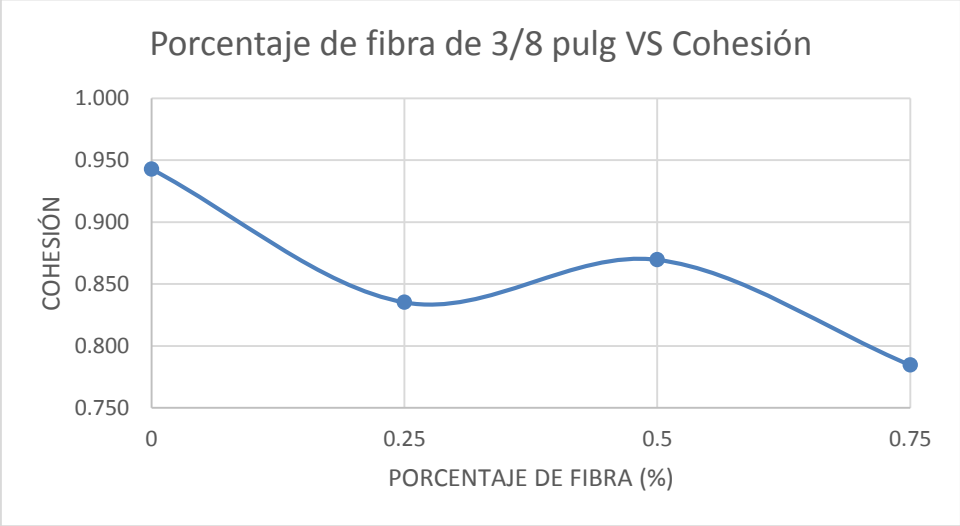


Fuente. Autor

En la figura 11 se puede apreciar que en la longitud de 3/8 pulg de fibra de polipropileno (fibratex), en los diferentes porcentajes de 0.25%, 0.50%, 0.75, el máximo ángulo de fricción obtenido fue de 31.6° alcanzado con el porcentaje del 0.50% al suelo.

En la siguiente figura se muestran los resultados de la cohesión para los diferentes porcentajes de fibra (0.25%,0.50%,0.75%) en la longitud de 3/8 pulg.

Figura 12. Porcentaje de fibra VS Cohesión.

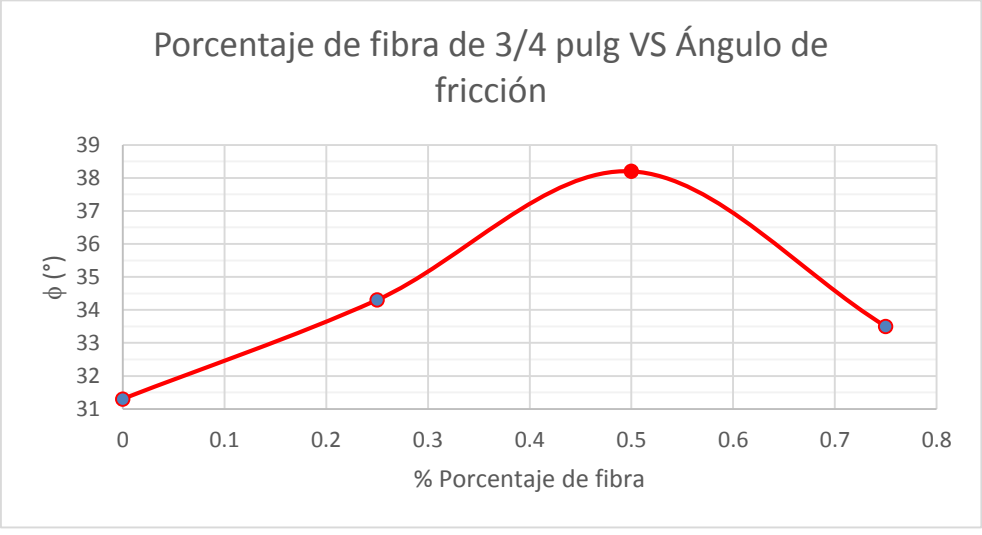


Fuente. Autor

En la figura 12 se puede observar que la cohesión inicial del suelo natural es mayor a la del suelo reforzado para esta longitud de 3/8 pulg. En ningún momento se presentó un aumento en este parámetro geotécnico con respecto a su valor inicial sin refuerzo.

En la siguiente figura se muestran los resultados del ángulo de fricción para los diferentes porcentajes de fibra (0.25%,0.50%,0.75%) en la longitud de 3/4 pulg.

Figura 13. Porcentaje de fibra VS ángulo de fricción interna.

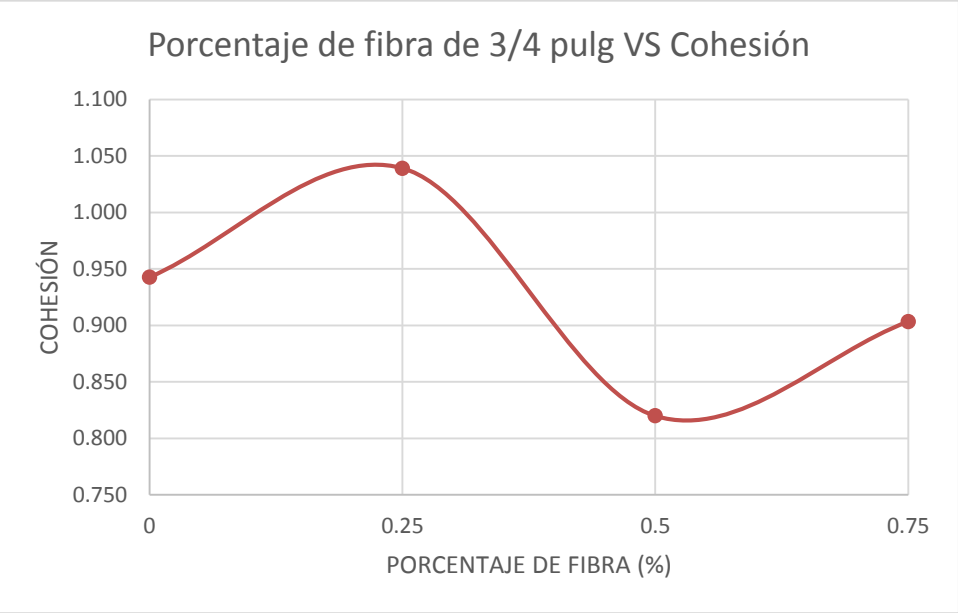


Fuente. Autor

En la figura 13 se puede apreciar que en la longitud de 3/4 pulg de fibra de polipropileno (fibratex), en los diferentes porcentajes de (0.25%, 0.50%, 0.75), el máximo ángulo de fricción obtenido fue de 38.2° alcanzado con el porcentaje del 0.50% al suelo.

En la siguiente figura se muestran los resultados de la cohesión para los diferentes porcentajes de fibra (0.25%,0.50%,0.75%) en la longitud de 3/4 pulg.

Figura 14. Porcentaje de fibra VS Cohesión.

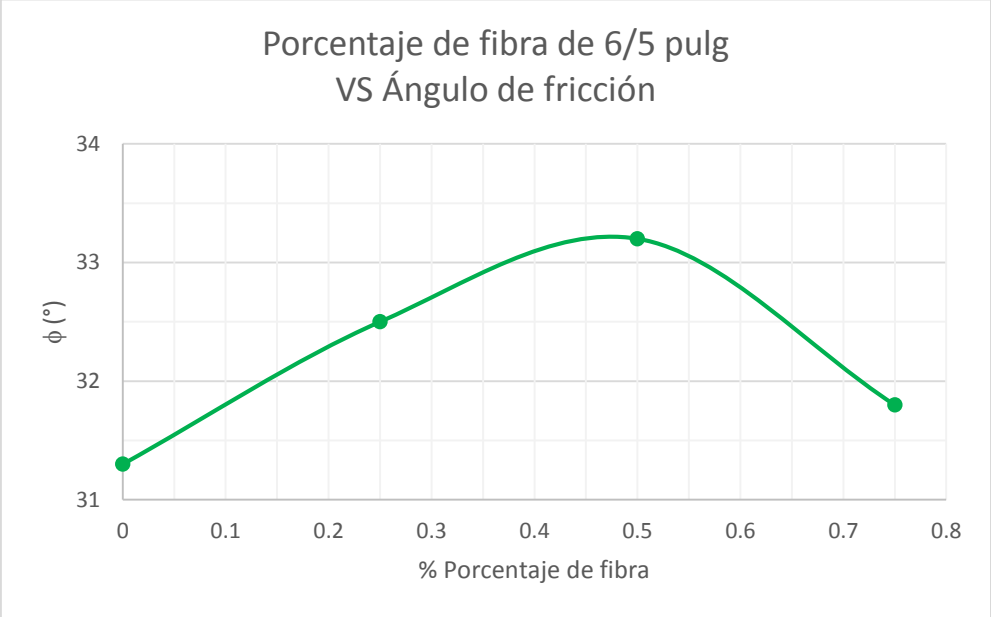


Fuente. Autor

En la figura 14 se puede observar que la cohesión inicial del suelo natural aumenta para un porcentaje de 0.25% de fibra de 3/4 pulg pero luego disminuye con respecto a su valor inicial del suelo sin fibra.

En la siguiente figura se muestran los resultados del ángulo de fricción para los diferentes porcentajes de fibra (0.25%,0.50%,0.75%) en la longitud de 6/5 pulg.

Figura 15. Porcentaje de fibra VS ángulo de fricción interna.

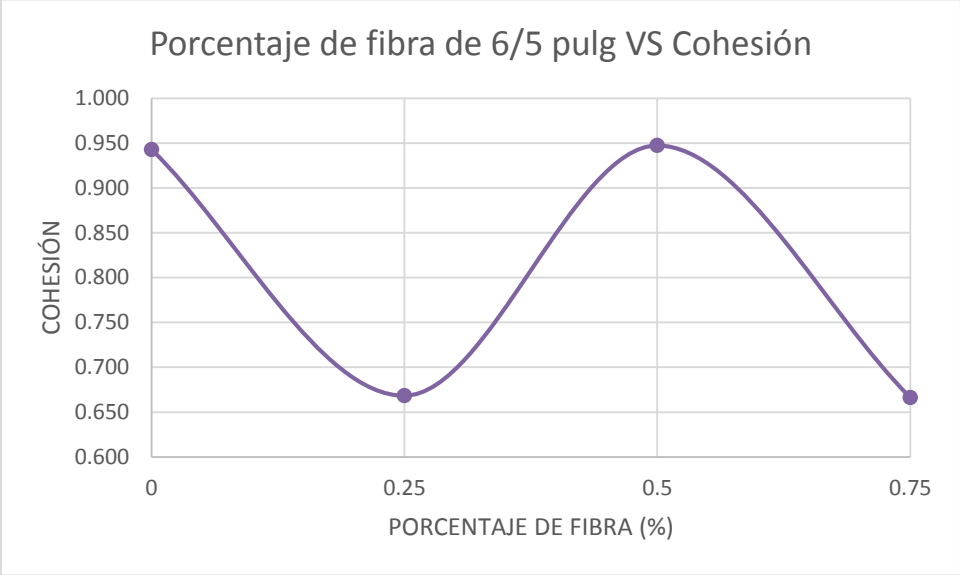


Fuente. Autor

En la figura 15 se puede apreciar que en la longitud de 6/5 pulg de fibra de polipropileno (fibratex), en los diferentes porcentajes de (0.25%, 0.50%, 0.75), el máximo ángulo de fricción obtenido fue de 33.2°, alcanzado con el porcentaje del 0.50% al suelo. Donde se mejoró por lo menos en un 6% el ángulo de fricción del suelo a diferencia de las investigaciones anteriores, que con esta longitud el ángulo siempre tiende a disminuir.

En la siguiente grafica se muestran los resultados de la cohesión para los diferentes porcentajes de fibra (0.25%,0.50%,0.75%) en la longitud de 6/5 pulg.

Figura 16. Porcentaje de fibra VS Cohesión.

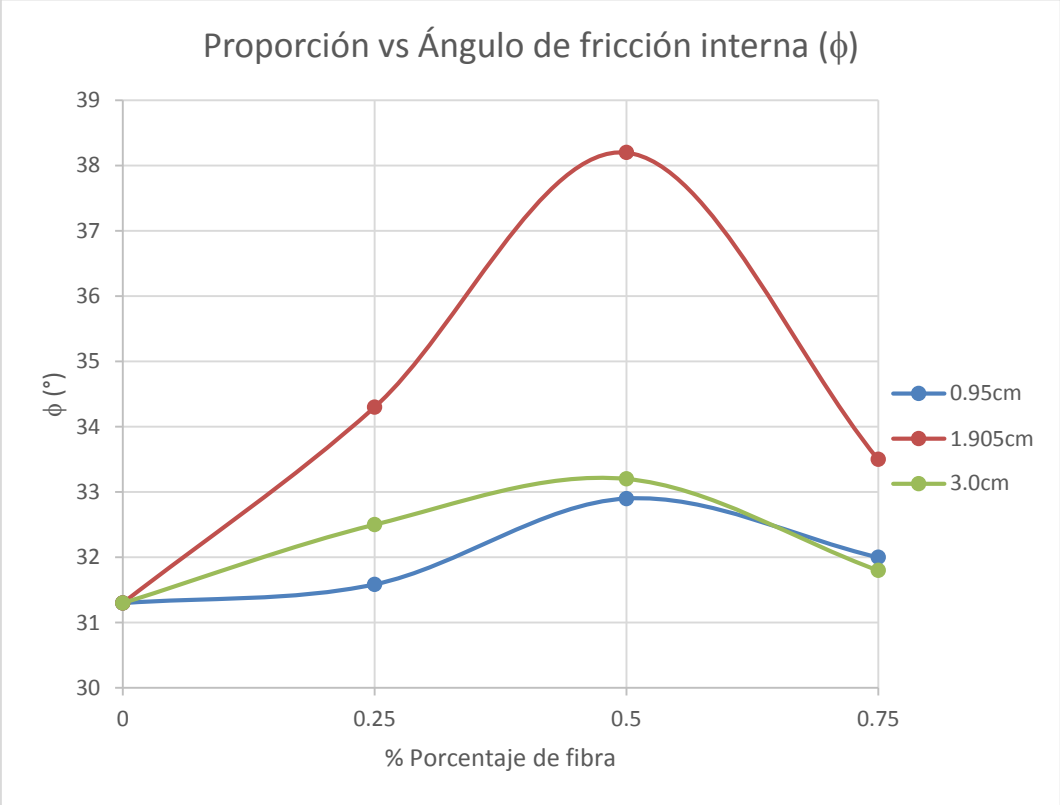


Fuente. Autor

En la figura 16 no se observa un comportamiento que muestre una tendencia específica ya que la cohesión disminuye y aumenta sin seguir un patrón para los diferentes porcentajes de fibra de 6/5 pulg.

En la siguiente figura se observa la variación del ángulo de fricción para los porcentajes de fibra en las diferentes longitudes (3/8 pulg, 3/4 pulg, y 6/5 pulg) adicionadas en el suelo natural

Figura 17. Porcentaje de fibra VS ángulo de fricción interna.



Fuente. Autor

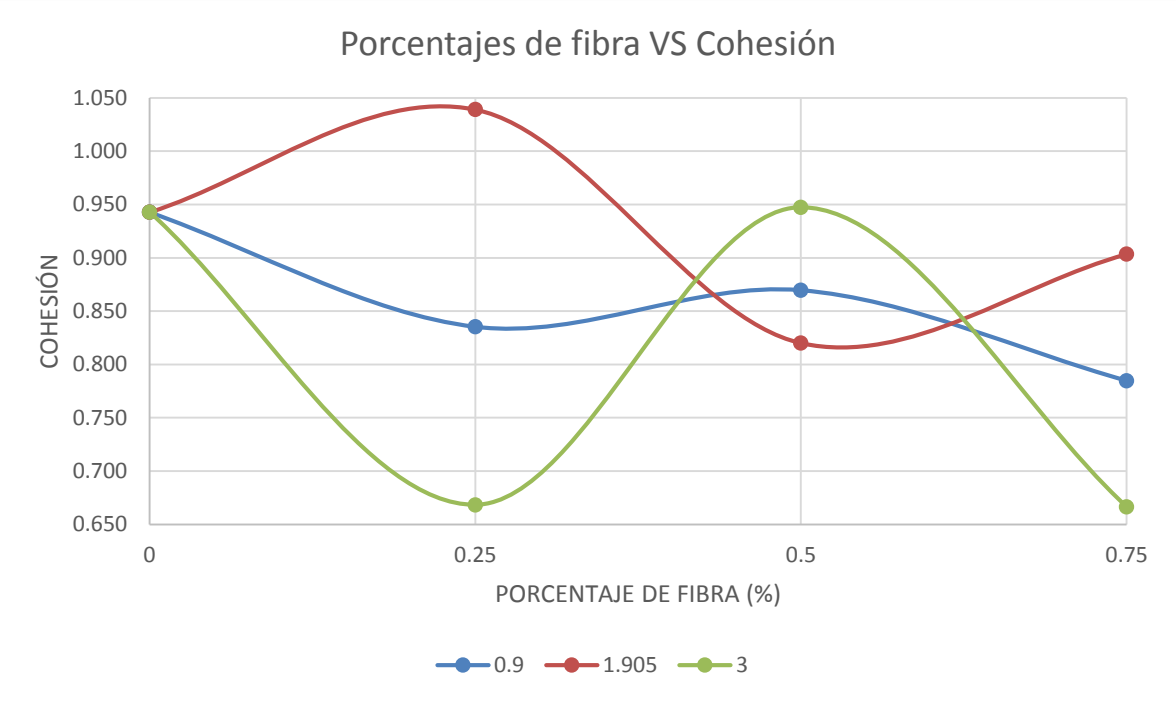
En la figura 17 se observa que al adicionarle fibras poliméricas de 3/8 pulg de longitud, el ángulo de fricción tiene un leve aumento, también se puede apreciar que al agregar fibras de 3/4 pulg, se presentaron los mayores aumentos del ángulo de fricción. Al aumentarse la longitud a 6/5 pulg, el ángulo de fricción sufre una disminución sustancial con respecto a los valores logrados con longitudes de 3/4 pulg.

Así mismo se pudo determinar que la longitud y porcentaje óptimos son 3/4 pulg y 0.50%, ya que con dicha longitud y porcentaje el ángulo de fricción subió de 31.3° a 38.2°, es decir un 22%.

De lo anterior se puede inferir que para longitudes de fibra mayores a las usadas en el presente trabajo de grado, el aumento en el ángulo de fricción será cada vez menor a medida que dichas longitudes aumentan. Basado en la tendencia vista en trabajos previos puede afirmarse que existe una longitud a partir de la cual, si esta se sigue aumentando, en el ángulo de fricción no solamente no aumentará sino que disminuirá con respecto al valor correspondiente a un suelo sin refuerzo, debido a que al agregar fibras muy largas se crearan vacíos y planos de falla.

En la siguiente figura se observa la variación de la cohesión para los porcentajes de fibra en las diferentes longitudes (3/8 pulg, 3/4 pulg, y 6/5 pulg) adicionadas en el suelo natural

Figura 18. Porcentaje de fibra VS Cohesión.



Fuente. Autor

En la figura anterior se puede apreciar que no existe una tendencia en la variación de la cohesión con respecto al porcentaje de fibra utilizado para ninguna de las longitudes. Así mismo se puede observar que para la longitud y porcentaje óptimos (aquellos que producen el mayor aumento en el ángulo de fricción) la cohesión obtenida fue de 0.82 kg/cm^2, es decir un 13.7% menos de su valor inicial in refuerzo.

7. CONCLUSIONES.

- Se analizaron 3 tipos de suelos provenientes de San Pablo Sur de Bolívar, los cuales se caracterizan por ser arcillosos, el primer suelo extraído de la trituradora es una arcilla de baja compresibilidad [CL], el segundo suelo extraído de la finca Bolívar es una arcilla de alta compresibilidad [CH] y por último el suelo tomado de la ladrillera el cuatro al igual que la segunda muestra es una arcilla de alta compresibilidad [CH], pero se decidió utilizarla muestra de la ladrillera el cuatro debido a su gran cantidad de material fino en comparación con la tomada de la finca Bolívar.

  Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el material utilizado en este proyecto, proveniente de la ladrillera "el cuatro" del municipio de San Pablo Sur de Bolívar es una arcilla inorgánica de alta plasticidad que pertenece al grupo CH, de acuerdo con el método AASHTO el material estudiado pertenece al grupo A-7-5.

- Por medio de los ensayos de Proctor Modificado, se determinó que la humedad optima promedio del suelo estudiado es de 18.1% y su peso específico seco promedio es de 1.65 g/cm^3.

- Los parámetros de resistencia al corte del suelo estudiado sin refuerzo fueron los siguientes: ángulo de fricción interna promedio = 31.3° y la cohesión promedio = 3/8 pulg kg/cm^2.

- Los parámetros de resistencia al corte de suelo reforzado con fibra de polipropileno en longitud de 3/8 pulg y en proporción de 0.25% son: ángulo de fricción interna promedio de 31.6 ° y cohesión promedio de 0.8 kg/cm^2. Para la misma longitud pero con una proporción de 0.50% los resultados obtenidos son: ángulo de fricción interna promedio de 32.9° y cohesión promedio de 0.9 kg/cm^2. Así mismo para una proporción de 0.75%: ángulo de fricción interna promedio de 32° y cohesión promedio de 0.8 kg/cm^2.

- Los parámetros de resistencia al corte de suelo reforzado con fibra de polipropileno en longitud de 3/4 pulg y en proporción de 0.25% son: ángulo de fricción interna promedio de 34.3 ° y cohesión promedio de 1.0 kg/cm^2. Para la misma longitud pero con una proporción de 0.50% los resultados obtenidos son: ángulo de fricción interna promedio de **38.2°** y cohesión promedio de 0.8 kg/cm^2. Así mismo para una proporción de 0.75%: ángulo de fricción interna promedio de 33.5° y cohesión promedio de 0.9 kg/cm^2.

- Los parámetros de resistencia al corte de suelo reforzado con fibra de polipropileno en longitud de 6/5 pulg y en proporción de 0.25% son: ángulo de fricción interna promedio de 32.5 ° y cohesión promedio de 0.7 kg/cm^2. Para la misma longitud pero con una proporción de 0.50% los resultados obtenidos son: ángulo de fricción interna promedio de 33.2° y cohesión promedio de 0.9 kg/cm^2. Así mismo para una proporción de 0.75%: ángulo de fricción interna promedio de 31.8° y cohesión promedio de 0.7 kg/cm^2.

- El máximo ángulo de fricción interna (38.2°) se obtuvo para una longitud de 3/4 pulg con una proporción de 0.50%, así mismo su cohesión fue de 0.8 kg/cm^2. Es decir, el ángulo de fricción interna tuvo un aumento en comparación con el suelo sin refuerzo de 22.04% mientras que la cohesión tuvo una disminución del 13.7%.

- Para el tipo de suelo y refuerzo utilizados en el presente trabajo no se observó una tendencia en la variación de la cohesión con respecto a los porcentajes de fibra utilizados para diferentes longitudes de la misma.

- Existen diferentes ecuaciones para el cálculo de la capacidad portante de un suelo, estas ecuaciones dependen de sus propiedades físicas (ángulo de fricción y cohesión), de la profundidad de desplante, de la forma de los cimientos y de los factores de capacidad portante, los cuales dependen directamente del ángulo de fricción y afectan a los tres términos de la ecuación de capacidad de soporte. En este trabajo se obtuvo un aumento del 22.04% en el valor del ángulo de fricción, a pesar de encontrarse una disminución del 13.7% en la cohesión, sin embargo tal como se mencionó atrás, es preferible un aumento significativo en el valor del ángulo de fricción así se sacrifique algo de la cohesión para lograr un aumento en la capacidad portante.

- En los análisis de estabilidad de taludes intervienen las propiedades físicas del suelo (ángulo de fricción, cohesión y densidad), topografía, nivel freático, sismicidad, entre otros; de tal forma que al aumentar el ángulo de fricción se lograra un aumento en el factor de seguridad de los taludes conformados por dichos suelos.

- El aumento en el ángulo de fricción de un suelo corresponde a un método mecánico de mejoramiento, sin embargo este tipo de mejoramiento no evita la expansión de los suelos al aumentar su humedad ni su contracción al disminuirla.

8. RECOMENDACIONES.

- Al trabajar con un material arcilloso de alta plasticidad y con alto contenido de agua, es recomendable dejar secando al horno 48 horas como mínimo a una temperatura de 130 °C, para así obtener un suelo totalmente seco.

- Al trabajar con un material con gran contenido de finos, es necesario apisonarlo para así romper los terrones que se forman en el secado y poder realizar un tamizado y empacar la cantidad necesaria en bolsas, optimizando así el trabajo.

- Para mantener la humedad óptima del material en el proceso de ejecución del ensayo de corte directo, se recomienda agregar un porcentaje del 1% a 2% de agua más que la humedad deseada para tener en cuenta perdidas por evaporación.

- En el proceso de extracción y preparación de las muestras, se llena el molde de compactación Proctor (incluyendo el collarín), luego se introduce una formaleta de corte directo en la parte superior (collarín) y de esta forma se tendrá la primera muestra. Posteriormente se introducen dos formaletas de corte, uno en la parte superior y el otro en la parte inferior del molde Proctor. Para materiales cohesivos se recomienda con la ayuda de un gato hidráulico extraer el cilindro completo de suelo donde se encuentras los dos moldes de corte para de esta manera cortar la muestra sin que sufra daños.

- Debido a la disponibilidad de la máquina de corte directo, se recomienda preparar las muestras para evitar pérdida de humedad, a la hora de ejecutar el ensayo, pero además estas se debe guardar en bolsas de papel aluminio y depositarlas en un recipiente (cava).

- Para optimizar tiempo a la hora de realizar el ensayo de corte directo, se recomienda dejar listo las pesas para cada una de las cargas, dichas pesas deben estar previamente aseguradas (envueltas en cinta) para evitar alteraciones.

- Es necesario realizar registro fotográfico en cada uno de los tiempos de toma de datos para tener una mayor precisión en estos y así curvas esfuerzo cortante vs deformación horizontal confiables.

- Debido a la falta piedras porosas, se recomienda lavar cada tres cortes directos dichas piedras, para así evitar taponamiento en los poros los cuales ayudan al drenaje y liberación de vacíos de la muestra.

- El tipo de suelo (arcilla de alta plasticidad con gran cantidad de finos [CH]) utilizado en este proyecto de grado es un material que se presta para realizar diferentes investigación por lo que se recomienda emplearlo en diversos proyectos de grado en los cuales se investiguen métodos para su estabilización.

- Se recomienda realizar investigaciones previas, en las cuales se determine el porcentaje de absorción que tiene la fibra de polipropileno (FIBRATEX).

9. BIBLIOGRAFÍA

[1] S. A. Cerro Becerra y Y. Oviedo Diaz, Analisis de comportamiento de los suelos finos en el aparato de corte directo despues de la adición de fibras naturales, Bucaramanga: Trabajo de grado Universidad Pontificia Bolivariana , 2004.

[2] M. C. Acost Reyes y J. J. Ballesteros Fuentes, Estudio del comportamiento de los suelos finos despues de la adición de fibra de vidrio, Bucaramanga : Trabajo de grado Universidad Pontificia Bolivariana, 2005.

[3] J. P. Santos Rey y T. C. Torres Serrano, Estudio del comportamiento de los suelos finos depues de la adición de fibras artificiales., Bucarmanga: Trabajo de grado Universidad Pontificia Bolivariana , 2005.

[4] H. Y. Barajas Lozano y G. A. Vanegas Barrera, «Estudio del comportamiento de los suelos arcillosos despues de la adicón de fibra de geotextil tejido T-1700,» Universidad Pntificia Bolivariana, Bucaramanga, 2008.

[5] D. P. Moreno y R. J. Ramirez, «Mejoramiento del ángulo de fricción interna en arenas arcillosas mediante la adicion de geotextil tejido T-2400,» Universidad Pontificia Bolivariana, bucaramanaga, 2012.

[6] E. Juares Badillo y A. Rico Rodriguez, Fundamentos de la mecanica de suelos tomo 1, Bogota DC: Limusa, 2005.

[7] C. Crespo Villalaz, MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES, Limusa, 2008.

[8] A. M. Fonseca, Ingenieria de Pavimentos para carreteras, vol. 1, Bogota DC: Universidad Catolica de Colombia, 1998.

[9] E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez, Mecánica de suelos Fundamento de la mecánica de suelos tomo 2, Mexico: LIMUSA, 1973.

[10] TESICOL, «CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS,» TESICOL.

[11] C. A. Triana Rodriguez y D. A. Villamizar Duarte, «Estudio del comportamiento de suelos arcillosos despues de la adición de geotextil tejido T-2400,» Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2010.

[12] C. A. Galvis Rueda y J. F. Merchan Mejia, «Evaluación del comportamiento de suelo al estabilizarlos con cemento,» Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2015.