

**RESPUESTA DEL SUELO - GEOTEXTIL EN ESTRUCTURAS DE SUELO
REFORZADAS, MEDIANTE LA OBTENCION DE LOS COEFICIENTES DE
INTERACCION, A TRAVES DE LOS ENSAYOS DE PULLOUT Y CORTE
DIRECTO MODIFICADO A UNA MISMA ESCALA.**

LINA MARIA GARCIA TELLEZ



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2008**

**RESPUESTA DEL SUELO - GEOTEXTIL EN ESTRUCTURAS DE SUELO
REFORZADAS, MEDIANTE LA OBTENCION DE LOS COEFICIENTES DE
INTERACCION, A TRAVES DE LOS ENSAYOS DE PULLOUT Y CORTE
DIRECTO MODIFICADO A UNA MISMA ESCALA**

LINA MARIA GARCIA TELLEZ

Trabajo de Grado para Optar por el Título de Ingeniero Civil

Pasantía de Investigación

Directores

KIANOOSH HATAMI

**Ph.D., P.Eng., M. ASCE, Assistant Professor
School of Civil Engineering and Environmental Science (CEES)
University of Oklahoma**

WILFREDO DEL TORO

**Ingeniero Civil, Docente de la Escuela de Ingeniería Civil
Universidad Industrial de Santander**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2008**

A mi madre, que me ha apoyado en todos los proyectos.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr Kianoosh Hatami por darme el apoyo, la oportunidad de trabajar en este proyecto, sus consejos y enseñanzas.

A mi familia que me apoyó durante el intercambio estudiantil, pudiendo así desarrollar este proyecto.

Al ingeniero Juan Diego Pinilla por sus recomendaciones y colaboración durante el proceso del proyecto.

A Sven Ivar Johnsen por su interés, cooperación en el proyecto y su entera confianza.

Al Ingeniero William Bermúdez por su interés y consejos en la etapa final del proyecto.

CONTENIDO

PAG

INTRODUCCION

METODOLOGIA

1. ESTRUCTURA DE SUELOS REFORZADA CON GEOSINTETICOS	20
2. GEOSINTETICOS	22
2.1. CLADIFICACION DE LOS GEOSINTETICOS	22
2.2. FUNCIONES DE LOS GEOSINTETICOS	23
2.2.1 DENCION DE SEPARACION	24
2.2.2 FUNCION DE DRENAJE	24
2.2.3 FUNCION DE FILTRACION	25
2.2.4 FUNCION DE PROTECCION	26
2.2.5 FUNCION DE REFUERZO	26
3. EVALUACION DE LA FRICCION ENTRE TEXTIL –SUELO	28
4. DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO	29
4.1 MATRIZ DE LOS ENSAYOS CORRIDOS	29
4.2 TRIAXIAL DRENADO	31
4.3 ENSAYO DE CORTE DIRECTO Y CORTE DIRECTO MODIFICACO	35
4.4 PULLOUT	44
5. FAST LAGRANGIAN ANALYSIS OF CONTINUA (FLAC)	53
6. ANALISIS DE RESULTADOS	54
6.1. RESULTADOS ENSYOS TRIAXIAL	55
6.2 RESULTADOS DE ENSAYO WIDE WIDTH TENSIL STRENGTH	58
6.3 RESULTADOS ENSAYO DE CORTE DIRECTO	60
6.4 RESULTADO ENSAYO DE CORTE DIRECTO MODIFICADO	61
6.41 GRAFICO DE RESULTADOS	62
6.5 RESULTADO ENSAYO PULLOUT	65
6.6 RESULTADO DE LOS ANGULOS DE FRICCION DEL SUELO Y DE INTERACCION	68
6.7 ANGULO DE DILATACION	71

7. SIMULACION COMPUTACIONAL DE ESTRUCTURAS DE SUELO CON REFUERZO	
EN GEOTEXTIL	75
CONCLUSIONES	81
BIBLIOGRAFIA	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de Ensayos	30
Tabla 2: Parámetros obtenidos por Ensayo Triaxial.....	68
Tabla 3: Parámetros obtenidos por Ensayo corte directo y corte directo modificado.....	69
Tabla 4: Parámetros obtenidos en todo los ensayos	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de suelo reforzada con geotextil	20
Figura 2: Modo de cortante y de arrancamiento del geotextil	21
Figura 3: Geotextil tejido.....	23
Figura 4: Maquina Triaxial.....	31
Figura 5: Circulo de Morh.....	32
Figura 6: Mesa Vibratoria	32
Figura 7: Envolvente de falla	34
Figura 8:Caja de corte directo modificado para geotextil-suelo.....	36
Figura 9: Geotextil adherido al Bloque de Aluminio (corte directo modificado)	38
Figura 10: Bloque de aluminio en la caja inferior. (Ensayo de corte directo).	38
Figura 11: Caja de corte directo modificado para geotextil-suelo.....	39
Figura 12: Diagrama ensayo de Pullout.....	44
Figura 13: Maquina de corte directo y Pullout	44
Figura 14: Caja de corte original. (Ensayo de corte directo).....	46
Figura 15: Modificación de la máquina de corte directo. (Pullout).....	46
Figura 16: Geotextil dentro de la máquina de corte directo. (Pullout)	47
Figura 17: Geotextil embebido en la caja de corte directo.....	48
Figura 18: Compactación de la primera capa para el ensayo Pullout.....	49
Figura 19: Compactación de la tercera capa de suelo, ensayo de Pullout.....	50
Figura 20: Muestra armada para el ensayo de Pullout.	51
Figura 21: Tipos de muestras Ensayo Triaxial.	57
Figura 22: Geotextil en Wide width test	59
Figura 23: ensayo de Pullout	66
Figura 24: Pullout Grande. Alto de 24 in y de ancho de 90 in.....	74
Figura 25 : Pullout Escala menor. Alto 1 in , Ancho 2.35 in	74

Figura 26: Modelo del talud sin refuerzo.	78
Figura 27: En mallado para el modelo en FLAC/slope, sin refuerzo.	78
Figura 28: Modelo del talud con refuerzo. Mirafi HP370.....	79
Figura 29: En mallado para el modelo en FLAC/slope, con refuerzo.	80
Figura 30: Superficie de falla. FLAC/Slope	80

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1: Esfuerzos-deformaciones, ensayo Triaxial.....	55
Grafica 2: Ensayo Triaxial para geotextil tejido.	56
Grafica 3: Ensayo Triaxial para geotextil no tejido.	56
Grafica 4: Ensayo Triaxial para Arena de Ottawa.	56
Grafica 5: deformación contra esfuerzo de Wide width tensile	59
Grafica #. Grafica 6: Esfuerzo- desplazamiento ensayo de corte directo, solo arena.	62
Grafica 7: Desplazamiento vertical- desplazamiento horizontal, ensayo de corte directo, arena de Ottawa.....	62
Grafica 8: Esfuerzo- desplazamiento, ensayo de corte directo modificado, geotextil y arena de Ottawa.....	63
Grafica 9: Desplazamiento vertical- desplazamiento horizontal, ensayo de corte directo modificado, geotextil y arena de Ottawa.....	63
Grafica 10: Resultados Corte directo y corte directo modificado	64
Grafica 11: Resultados de Pullout.....	67
Grafica 12: Envolventes de falla. Ensayo Triaxial.....	68
Grafica 13: ángulos de fricción de Pullout y corte directo.....	69
Grafica 14: . Ángulos de fricción de todos los ensayos.....	70
Grafica 15: Resultados de los ángulos de dilatación	73

GLOSARIO

COEFICIENTE DE INTERACION: Es el coeficiente que define la interacción de la ficción entre dos materiales, en este estudio entre el suelo y el geotextil. Este coeficiente está definido por la tangente del ángulo de interacción sobre el ángulo interno del suelo

COHESION: existencia de fuerzas intermoleculares que interfieren la ruptura del conjunto

CONSOLIDACION: consolidación de un suelo es un proceso de reducción de volumen de los suelos finos cohesivos, provocado por la actuación de solicitaciones (cargas) sobre su masa y que ocurre en el transcurso de un tiempo generalmente largo.

DEFORMACIONES La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a la aplicación de una o más fuerzas sobre el mismo o la ocurrencia de dilatación

ESFUERZOS CORTENTES: el esfuerzo cortante es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un material.

ESFUERZOS NORMALES: El esfuerzo normal (esfuerzo axil o axial) es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones perpendiculares (normales) a la sección transversal de un material.

GEOMEMBRANAS: son láminas poliméricas impermeables, utilizadas como barrera de líquidos y sólidos.

GEOSINTETICOS: Son materiales que se fabrican a partir de varios tipos de polímeros y que se utilizan para mejorar y hacer posible la ejecución de ciertos proyectos de construcción de ingeniería civil y geotécnica.

GEOTEXTIL se denomina geotextil a aquel material textil, plano y polimérico que presenta ciertas aplicaciones en el mundo de la construcción. Se dividen principalmente en geotextiles, geomallas y geomembranas. Los primeros son materiales textiles que tienen una menor "abertura" de malla que las geomallas.

PERMEABILIDAD: es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

TRANSMISIVIDAD: Permeabilidad en su plano

ABREVIATURAS

MD Dirección de las fábricas del geotextil paralelas a la máquina de fabricación

XD Dirección de las fábricas del geotextil perpendiculares a la máquina de fabricación

C Cohesión del suelo.

Ca Cohesión entre el suelo y el geotextil

\emptyset Angulo de fricción del suelo

δ Angulo de fricción de interacción entre el suelo y el geotextil

Ci Coeficiente de interacción entre el suelo y el geotextil

WGT Geotextil tejido (Woven Geotextile)

NWGT Geotextil no tejido (Non Woven Geotextile)

LVDT Sensores de Voltajes.

FLAC Fast Lagrangian Analysis Of Continua.

UV Ultra violeta

DS Ensayo de Corte Directo (Direct Shear)

IS Ensayo de Corte Directo Modificado (Interface shear)

PL Ensayo de Pullout.

Id Densidad relativa

TITULO: RESPUESTA DEL SUELO - GEOTEXTIL EN ESTRUCTURAS DE SUELO REFORZADAS, MEDIANTE LA OBTENCION DE LOS COEFICIENTES DE INTERACCION, A TRAVES DE LOS ENSAYOS DE PULLOUT Y CORTE DIRECTO MODIFICADO A UNA MISMA ESCALA.*

AUTOR: LINA MARIA GARCIA TELLEZ**

PALABARAS CLAVES: Angulo de interacción, Angulo de fricción, Geotextil, Estructuras de suelo, Pullout, Corte Directo, Triaxial.

CONTENIDO:

En la aplicación de geotextiles para proveer anclaje en el refuerzo de estructuras de suelos son necesarios los siguientes parámetros: El ángulo de fricción de interface suelo-geosintético (δ), La adhesión del suelo (C_a') al geosintético, Cohesión C y ángulo interno de fricción ϕ del suelo.

Estos parámetros se pueden adquirir a través de los ensayos de Corte Directo Modificado, obteniendo un mejor comportamiento del sistema suelo-geotextil en la orientación de las fibras principales del geotextil, paralelas a la maquina (MD). Y mediante el ensayo de Pullout a la misma escala del ensayo de Corte Directo, alcanzando con el geotextil en el sentido (MD) el ángulo de interacción significativamente mayor que el ángulo en (XD). Se pudo observar en el caso de (MD) las fibras del geotextil se habían arreglado de tal forma que le daba más fricción al sistema; contrario en el ensayo de (XD) las fibras se debilitaron, fallando por deformaciones excesivas. El ensayo de Pullout expone valores muy cercanos a los de Corte Directo Modificado a la misma escala, con alta resistencia a tracción de las fibras del geotextil.

Los parámetros propios del suelo, tal como la cohesión C y ángulo interno de fricción ϕ , se pueden hallar con el ensayo Triaxial o el ensayo de Corte Directo. Se ensayó la muestra en Triaxial drenado con diferentes capas de geotextil, logrando una mejor resistencia del conjunto suelo-geotextil con más capas de geotextil. Para el ensayo de corte Directo se obtuvo mejor resistencia al corte para densidades mayores del suelo.

Con cada uno de estos cuatro ensayos se obtuvieron los parámetros experimentalmente del suelo y de la interacción suelo-geotextil, para después modelar una estructura de suelo reforzada en el programa de diferencias finitas FLAC.

*Proyecto de Grado

**Facultad: Físico -mecánicas. Escuela: Ingeniería Civil. Director: Kianoosh Hatami. Codirector: Wilfredo Del Toro

TITLE: IN-SOIL RESPONSE OF GEOTEXTILE IN REINFORCED SOIL STRUCTURES, TROUGH THE RELATIONSHIP BETWEEN SOIL-GEOTXTILE INTERACTION FACTORS AS OBTAINED FROM PULLOUT AND DIRECT SHEAR TEST AT THE SAME SCALE.*

AUTOR: LINA MARIA GARCIA TELLEZ**

KEY WORDS: Interaction Friction Angle, Friction Angle, Geotextile, Soil Structures, Pullout, Direct Shear, Interface Shear, Triaxial.

ABSTRACT:

On geotextiles implementation to provide anchorage in reinforced soil structures are needed the following parameters: The interface friction angle soil-geosynthetic (δ), cohesion (C_a) soil-geosynthetic, internal cohesion (C) and soil friction angle ϕ .

These parameters can be obtained through Interface shear tests, to produce a better performance of soil-geotextile by testing the material with the fibers parallel directions to the machine (MD). And by Pullout tests at the same scale to Direct Shear test, the interaction friction angle reached here was significantly greater for (MD) than the (XD). It is evident in the case of (MD) the geotextile fibers had been arranged in such a way that gives more friction to the system; contrary in (XD) the fibers are weakened, failing by excessive deformations. The pullout test exposes values close to Interface Shear test at the same scale, for high tensile strength of the geotextile fibers.

The soil parameters, as (C) cohesion and internal friction angle ϕ , can be found through Triaxial test or Direct Shear test. The sample was tested in drained Triaxial test with different layers of geotextile, achieving a better strength of the entire soil-geotextile structure with more layers of geotextile. With Direct Shear test the performance is greater in shear strength for higher soil densities.

For each of these four tests the parameters of the soil and the soil-geotextile were obtained, and then modeled a reinforced soil structure on the software by finite differences FLAC.

*Major Work

**Faculty: Physic -mechanics. School: Civil Engineering. Director: Kianoosh Hatami. Codirector: Wilfredo Del Toro

INTRODUCCION

El propósito de esta investigación es encontrar la mejor aplicación de geotextiles para proveer anclaje en el refuerzo de estructuras de suelos. El uso de geosintéticos en el campo de la ingeniería ha crecido en los últimos años debido a sus buenas propiedades mecánicas e hidráulica, además de más de su precio en el mercado.

Su implementación puede representar una ventaja económica frente a los sistemas tradicionales de refuerzo debido a que los costos de la inversión no son muy elevados. La diferencia económica entre construcción de refuerzo en concreto o con geotextil pueden llegar a ser significativas.

Se plantea esta tesis como parte de la búsqueda de nuevos sistemas de refuerzo diferentes a los convencionales, que puedan aportar al suelo un desempeño favorable dentro de los parámetros establecidos de diseño.

Los parámetros más importantes en el diseño de estructuras de suelo reforzadas con geosintéticos son: 1.) El ángulo de fricción de interface entre el suelo y el geosintético (δ), 2.) La adhesión del suelo (C_a') al geosintético y 3.) Los parámetros propios del suelo, cohesión C y ángulo interno de fricción ϕ . Los parámetros de interface entre los dos materiales suelo-geosintético C_a' y δ se pueden hallar mediante los ensayos de laboratorio de arrancamiento o Pullout y el ensayo de Corte Directo Modificado. Para la obtención de los parámetros propios del suelo C y ϕ , se pueden hallar con el ensayo Triaxial o el ensayo de Corte Directo entre el suelo. Estos Ensayos de laboratorios realizados serán explicados paso a paso más adelante.

El principal objetivo de este estudio es determinar los coeficientes de fricción entre el refuerzo y el suelo mediante ensayos de Pullout y Corte Directo modificado,

comparando sus resultados, y sus efectos al realizar los dos ensayos a la misma escala. Sin embargo los coeficientes de interacción medidos en el ensayo de Corte Directo Modificado pueden ser en muchos casos diferentes a los medidos en el ensayo de Pullout o de arrancamiento. Este fenómeno puede resultar por el efecto de dilatación del suelo bajo el sometimiento de esfuerzos cortantes.

Cuando se está estabilizando una pendiente con Geosintéticos, la estabilidad de dicha pendiente depende de la fuerza del geosintético y la fuerza de fricción entre el geosintético y el suelo que se desarrolla. Para entender más a fondo este concepto es importante conocer los términos relacionados a este tema, y los tipos de ensayos que son comúnmente usados para obtención de dichos parámetros, los cuales se describen a continuación.

METODOLOGIA

Este trabajo se llevo a cabo en el transcurso de un intercambio estudiantil entre la universidad industrial de Santander y la universidad de Oklahoma, se desarrollo en el las instalaciones de esta universidad bajo la dirección del profesor Kianoosh Hatami.

Se realizó la recopilación y el análisis de la información concerniente a las distintas investigaciones que se han realizado acerca de la obtención y usos de los parámetros de interacción entre el suelo y el geotextil. Se consultó las normas para la realización de los ensayos de laboratorio utilizados en esta investigación.

Se ejecutó la etapa de recopilación de datos por medio de los ensayos de laboratorio, obteniendo datos empíricos de los parámetros suelo, geotextil y los coeficientes de interacción entre ambos materiales, geotextil y suelo.

Se analizo los datos obtenidos por medio de los ensayos de laboratorio, concluyendo el efecto a la misma escala del ensayo de Pullout y corte directo.

Con los datos obtenidos experimentalmente se modelo un sistema de suelo reforzado en el programa FLAC/slope, analizando la influencia de las estructuras de suelo con geotextil y sin geotextil.

1. ESTRUCTURAS DE SUELO REFORZADA CON GEOSINTETICOS

Para una estructura reforzada con geosintéticos es necesario conocer ciertos parámetros del suelo que se quiere reforzar, del geosintético que se va utilizar y los parámetros que componen en conjunto los dos materiales. Para el diseño de dichas estructuras se tiene en consideración las siguientes ecuaciones:

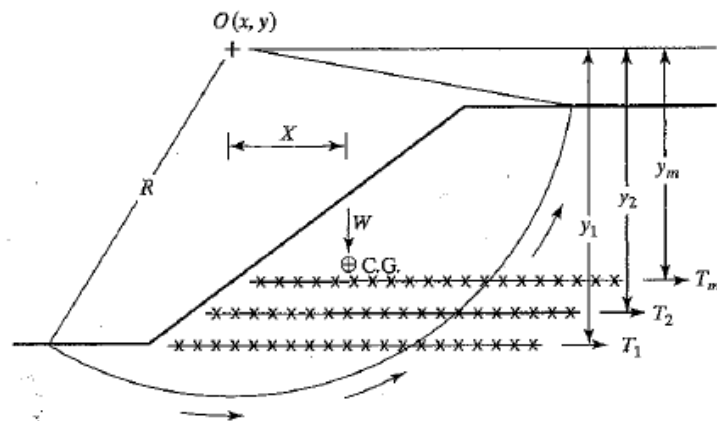


Figura 1: Estructura de suelo reforzada con geotextil

$$T_m = 2 * C_i * L_a * \sigma_v * \tan \phi$$

T_i = Esfuerzo de tracción en el geotextil (kN/m)

L_a = Longitud de anclaje del geotextil (m)

σ_v = Esfuerzo vertical sobre el geotextil

ϕ =Angulo de fricción del suelo

C_i = coeficiente de interacción entre el geotextil y el suelo

$$FS = \frac{MR + \sum_{i=1}^N T_m * y_m}{M_o}$$

MR=momentos resistentes

M_o =momentos derivantes.

y_m =distancia perpendicular desde la capa de geotextil y el centro del círculo de falla.

Los coeficientes de interacción entre el suelo y los geosintéticos se hallan mediante la siguiente ecuación:

$$c_i = \frac{\tan \delta}{\tan \phi}$$

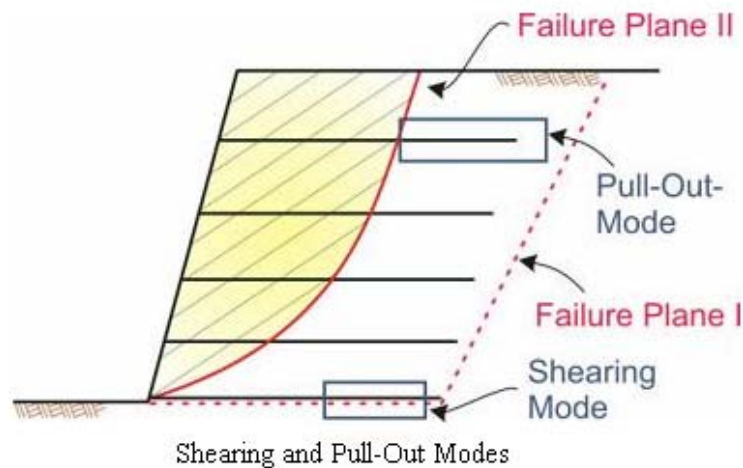


Figura 2: Modo de cortante y de arrancamiento del geotextil

En la figura 2 se muestra los esfuerzos a los que está sometido el geotextil de refuerzo y para los que debe ser diseñado o que debe resistir. Para un deslizamiento en bloque o plano de falla I, debe resistir cortante en la zona de contacto entre el suelo y el geotextil (ensayo de corte directo). Para un plano de falla II el geotextil debe resistir esfuerzos de arrancamiento (ensayo de Pullout).

2. GEOSINTETICOS

Los geosintéticos son materiales, que se fabrican a partir de varios tipos de polímeros y que se utilizan para mejorar y hacer posible la ejecución de ciertos proyectos de construcción de ingeniería civil y geotécnica.

Las propiedades mecánicas e hidráulicas de los geosintéticos han posibilitado su desarrollo en los proyectos de construcción y mecánica de suelos.

2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS.

Los geosintéticos se dividen principalmente en geotextiles, geomallas y geomembranas. Los geotextiles son materiales textiles que tienen una menor "abertura" de malla que las geomallas. En la práctica, se denomina geotextil a aquel material textil, plano y polimérico.

También los geosintéticos se pueden clasificar según la materia prima que los componen. Los polímeros más utilizados son las poliolefinas (polietileno y polipropileno) y el poliéster.

De acuerdo con el proceso de fabricación, los geotextiles se pueden clasificar en geosintéticos tejidos y geosintéticos no tejidos. En los geotextiles tejidos las fibras que lo componen se presentan en dos direcciones preferentes, llamadas trama y urdimbre y perpendiculares entre sí. En los geotextiles no tejidos las fibras tienen direcciones aleatorias.



Figura 3: Geotextil tejido.

Los geosintéticos no tejidos se dividen en termosoldados y en agujeteados. En los primeros el proceso de producción emplea el calor para unir las fibras. En los segundos, las fibras se unen por un proceso de compactación por agujas.

2.2. FUNCIONES DE LOS GEOSINTÉTICOS

Los geosintéticos se utilizan para satisfacer las siguientes funciones principales:

- Separación
- Drenaje
- Filtración
- Protección
- Refuerzo

Es necesario conocer cuál es la función que se le exige a un material geosintético antes de proceder a su diseño e instalación.

2.2.1. FUNCIÓN DE SEPARACIÓN

Se coloca un geotextil de separación entre dos capas de suelo de diferentes propiedades, para evitar la mezcla entre ambos.

Los geotextiles crean una barrera permeable entre suelos de diferente textura y estructura. Estos diferentes materiales quedan separados y por ello mantienen intactas sus propiedades mecánicas e hidráulicas, mientras que el agua puede fluir a su través.

Se buscará un geotextil que resista los daños mecánicos de la instalación. La función del geotextil puede perderse por rotura o desgarró. Este geotextil, llamado anticontaminante, debe ser capaz de retener las partículas finas de una determinada granulometría bajo carga estática o dinámica. Es necesario tener en cuenta la durabilidad del geotextil en el medio en el que se instale. Para esto en el diseño se le aplican unos factores de reducción a la resistencia.

2.2.2. FUNCION DE DRENAJE

El agua dentro de un material de relleno aumenta los empujes y reduce la resistencia del suelo a esfuerzo cortante.

El sistema de drenaje de una estructura puede estar formado por gravas o por un material geosintético tridimensional que permita el flujo de agua en su cavidad, posibilitando la reducción de los empujes y una más rápida consolidación del terreno.

Un geosintético de drenaje debe tener la suficiente transmisividad (permeabilidad en su plano) para permitir la salida de agua y gases del medio.

Es necesario que el espesor del geotextil permita el drenaje cuando se aplica una carga estática normal sobre él. El geotextil de drenaje debe acompañarse de un sistema de filtración que evite la colmatación del conjunto, por acumulación de finos. El geotextil debe tener una durabilidad tal que garantice la función de drenaje durante la vida útil.

2.2.3. FUNCIÓN DE FILTRACIÓN

Un geosintético de filtración debe colocarse entre el material drenante y el suelo, cumpliendo ciertos requisitos de retención de partículas y de permeabilidad.

Los geosintéticos realizan una labor de filtro sobre las partículas de suelo, para permitir que el agua llegue al sistema de drenaje.

La permeabilidad del geosintético debe ser mayor que la permeabilidad del suelo que se pretende filtrar. La lámina filtrante debe evitar la migración de finos, que puede conducir al colapso de una estructura en ingeniería hidráulica. El geosintético de filtración también se debe diseñar para evitar la acumulación de finos que provoquen la colmatación del sistema de acuerdo con la granulometría del terreno.

La porometría del geosintético es un parámetro muy importante. El geosintético filtrante se define por su abertura de filtración y por su permisividad.

Es necesario que el geosintético de filtración sea resistente a la perforación, putrefacción y estable ante posibles ataques de agentes químicos.

2.2.4. FUNCIÓN DE PROTECCIÓN.

Un geotextil de protección se coloca para evitar el deterioro de las láminas de impermeabilización y de tuberías de materiales semirrígidos.

Un geotextil de un determinado espesor protege contra la perforación a una geomembrana de impermeabilización, por ejemplo en túneles y vertederos. Las aristas y zonas punzantes del terreno, e incluso las basuras en el caso de los vertederos, pueden punzonar la lámina. Los daños mecánicos se pueden producir en fase de construcción o con posterioridad.

El espesor del geotextil de protección y su resistencia a punzonamiento son los parámetros más importantes de estos materiales geosintéticos. La putrefacción química de estos materiales debe ser acorde con la vida útil del conjunto.

2.2.5. FUNCIÓN DE REFUERZO

Cuando el valor del esfuerzo cortante supera el valor de la resistencia del suelo es necesario el empleo de un geosintético de refuerzo. Con un geosintético de refuerzo embebido en la masa de suelo se consigue mejorar las características mecánicas, aumentando la resistencia al corte del conjunto. El geosintético consigue una mejor distribución de las cargas y un mejor comportamiento de las capas del suelo. En definitiva, el geosintético aporta una mayor resistencia a tracción a la capa donde se instale.

Estos materiales geosintéticos se emplean para reforzar suelos o asfaltos.

En suelos, las soluciones de refuerzo se emplean generalmente para ejecutar taludes de fuertes pendientes y para construir terraplenes sobre suelos de baja capacidad portante.

El geosintético deberá tener una elevada resistencia a tracción y una baja deformación (alto módulo elástico). La fluencia del geosintético es un valor de gran importancia. La pérdida de resistencia con el paso del tiempo debe ser baja.

El coeficiente de interacción de un geosintético de refuerzo con el suelo que lo rodea define su longitud de anclaje. Las geomallas tienen una mayor adherencia al terreno y una mayor durabilidad en el medio que los geotextiles, pero son más costosas.

La resistencia a agentes químicos y biológicos, rayos UV y los daños mecánicos que los procesos de instalación y compactado pueden ocasionar también deben ser tenidos en cuenta para diseñar con estos materiales. Los fabricantes deben proporcionar los coeficientes de reducción de resistencia de estos materiales por cada uno de estos conceptos.

Para las funciones de separación, drenaje, filtración y protección normalmente se utilizan geosintéticos no tejidos. Para la función de refuerzo es necesario que el geosintético tenga una elevada resistencia a tracción y presente una baja fluencia y una escasa deformación unitaria. Estos requisitos imponen la utilización de materiales tejidos para estas funciones.

Debido a la importante función que desempeñan estos geosintéticos de refuerzo, su instalación exige que el fabricante certifique la idoneidad del producto con la correspondiente homologación de calidad.

3. EVALUACION DE LA FRICCION ENTRE GEOTEXTIL- SUELO

Existen dos formas de falla en las estructuras de suelo reforzadas. Una es la falla por adhesión y la otra es la falla por tensión del refuerzo. La falla por adhesión se rige por la fricción y la cohesión entre el refuerzo y el suelo, por lo tanto estos son entre otros, los factores gobernantes para un satisfactorio funcionamiento de la estructura. La falla de tensión se puede prevenir escogiendo el adecuado esfuerzo a tensión del refuerzo.

Hay dos tipos de ensayos para la evaluación de la fricción entre el suelo y el geosintético, Pullout y Corte directo modificado. Estos ensayos miden la resistencia total al cortante entre el geotextil y el suelo. La resistencia total de deslizamiento puede ser una combinación entre el deslizamiento, rodamiento y el entrelazado entre el suelo y la superficie del geotextil. Esta resistencia al cortante varía con la dirección relativa del cortante con la orientación de las fibras del geotextil MD (Machine Direction) o XD (Cross Machine Direction)¹.

Los valores de coeficientes determinados por estos ensayos, son función: de la carga normal aplicada, características del material geosintético, gradación del suelo, plasticidad del suelo, densidad, tamaño de la muestra y magnitud de desplazamiento.²

Según los estudios experimentales de G Venkatappa Rao (1988) en ángulo de fricción depende de la fábrica, la combinación del suelo y su densidad³. También analizó la influencia del coeficiente de interacción con la longitud embebida del geotextil dentro del suelo, es mayor para mayor longitud de refuerzo.

¹ ASTM D5321-02

² ASTM D5321-02

³ Indian geotechnical journal.

4. DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

4.1. MATRIZ DE LOS ENSAYOS CORRIDOS:

La tabla 1 es la matriz que compila todos los ensayos que se corrieron para esta investigación, con las diferentes características de cada ensayo, se corrieron un total de 36 ensayos diferentes y dos veces por ensayo, tratando de buscar la mejor tendencia que describa el fenómeno. En algunos casos fue necesario correr un tercer ensayo cuando los dos anteriores no eran muy similares y así poder hacer un ajuste con los datos obtenidos, obteniendo una mejor precisión. En total se realizo aproximadamente 80 ensayos para llegar a las siguientes conclusiones.

Los cuatro clases de ensayos se corrieron en 3 maquinas diferentes, para el ensayo Triaxial se monto en una maquina Triaxial con confinamiento de agua.

Para el ensayo de Pullout y corte directo se realizaron en la misma máquina de Corte Directo con ligeras modificaciones para Pullout, y el ensayo para el geotextil wide width tensile. Todos estos ensayos se realizaron de acuerdo a las normas ASTM, de cada ensayo:

- Triaxial Confinado **ASTM 4767-95**
- Corte Directo **ASTM D 3080-72**
- Corte Directo Modificado **ASTM D 5321-02**
- Pullout **ASTM D 6706-01**
- Wide Width Tensile Strength **ASTM D4595-05**

TEST	Esfuerzo normal (Kpa)	Suelo	DIRECCION	GEOTEXTIL	Localización GEOTEXTIL	Densidad Relativa	# test
TRIAXIAL	20	Ottawa Sand		Tejido	0	96%	12
	50			No tejido	1/2 h		
					1/3 h & 2/3 h		
PULLOUT	25	Ottawa Sand	Machine	Tejido	1/2 h	88%	6
	50		Cross machine				
	100						
CORTE DIRECTO	25	Ottawa Sand				88%	6
	50					56%	
	100						
CORTE DIRECTO MODIFICADO	25	Ottawa Sand	Machine	Tejido	1/2 h	88%	6
	50		Cross machine				
	100						

Tabla 1: Matriz de Ensayos

4.2. TRIAXIAL DRENADO

Su principal finalidad es obtener parámetros del suelo y la relación esfuerzo-deformación a través de la determinación del esfuerzo cortante. Es un ensayo complejo, pero la información que se entrega es la más representativa del esfuerzo cortante que sufre una masa de suelo al ser cargada.



Figura 4: Máquina Triaxial

Consiste en colocar una muestra cilíndrica de suelo dentro de una membrana de caucho o goma, que se introduce en una cámara especial y se le aplica una presión igual en todo sentido y dirección. Alcanzando ese estado de equilibrio, se aumenta la presión normal o axial (σ_1), sin modificar la presión lateral aplicada (σ_3), hasta que se produzca la falla.

Realizando por lo menos 2 pruebas, con presiones laterales diferentes, en un gráfico se dibujan los círculos de Mohr que representan los esfuerzos de falla de cada muestra y trazando una tangente o envolvente a estos, se determinan los

parámetros ϕ y c del suelo. Dependiendo del tipo de suelo y las condiciones en que este trabajara, las alternativas para realizar el ensayo serán: consolidado no drenado (CU), no consolidado no drenado (UU) o consolidado drenado (CD).

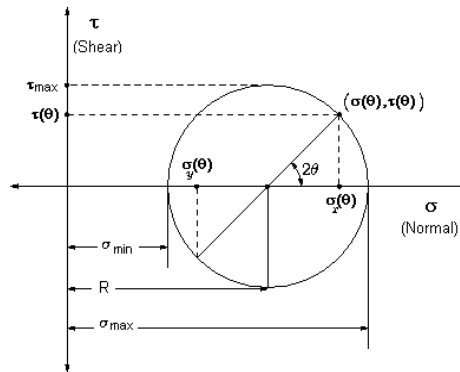


Figura 5: Círculo de Mohr

Se realizaron diferentes ensayos, cambiando la ubicación del refuerzo (geotextil Mirafi HP370) en la muestra, para analizar la influencia en los esfuerzos cortantes con respecto al número de capas de geotextil utilizadas, en la estructura. La primera combinación es sin geotextil, el suelo se somete al ensayo Triaxial sin ningún geotextil. La segunda combinación es el geotextil ubicado en la mitad de la muestra, y la tercera combinación es dos capas de geotextil espaciadas a la misma distancia a 1/3 de la altura original de la muestra del suelo. La compactación de la muestra se realizó por medio de una mesa vibratoria 50 Hz

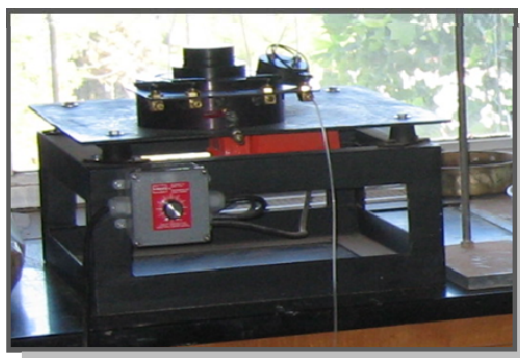


Figura 6: Mesa Vibratoria

Procedimiento ensayo Triaxial:

1. Obtener densidad

2. Calcular la altura inicial(L_0) de la probeta, como la media aritmética de las lecturas realizadas.

3. Calcular el diámetro (D) de la probeta:

$$D = (d_i + d_m + d_s) / 3 \text{ (cm)}$$

Donde:

d_i = diámetro inferior (cm)

d_m = diámetro medio (cm)

d_s = diámetro superior (cm)

4. calcular el área (A) y el volumen (V) de: la probeta.

$$A = \pi * (D / 2)^2 \text{ (cm}^2\text{)} \text{ y } V = A * L_0 \text{ (cm}^3\text{)}$$

5. calcular la deformación unitaria (ϵ) para cada aplicación de carga,

Mediante la siguiente ecuación:

$$\epsilon = \Delta L / L_0$$

Donde:

ΔL = variación de la altura de la probeta (cm.)

6. calcular el área corregida (A_c) para cada aplicación de carga,

Mediante la siguiente ecuación:

$$A_c = A / (1 - \epsilon) \text{ (cm}^2\text{)}$$

7. calcular el esfuerzo desviador (σ_c) para cada unidad de área ,

Mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = P / A_c \text{ (kgs/cm}^2\text{)}$$

Donde:

P = carga aplicada (kgs)

8. **graficar la deformación unitaria** ($\epsilon \cdot 10^{-2}$) contra esfuerzo desviador,
Para cada presión de confinamiento.

9. **Dibujar los círculos de Mohr** para todos los ensayos sobre un mismo grafico y trazar una tangente o envolvente a estos círculos. De allí se puede obtener los parámetros ϕ y c del suelo, midiendo la pendiente de la envolvente, que corresponde al ángulo de fricción interna (ϕ) y el intercepto con la ordenada, que corresponde a la cohesión (c).

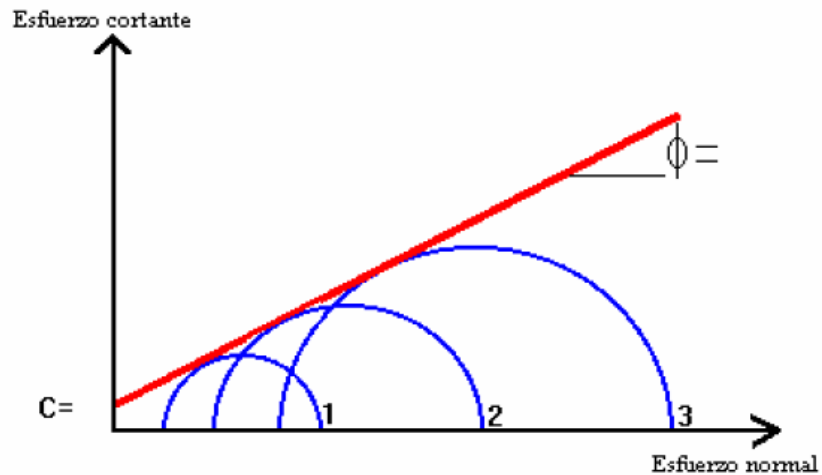


Figura 7: Envolvente de falla

10. **Cálculos de diagramas pq** .

Para cada ensayo calcular el valor de p y q , mediante las siguientes expresiones:

$$p = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2$$

$$q = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$$

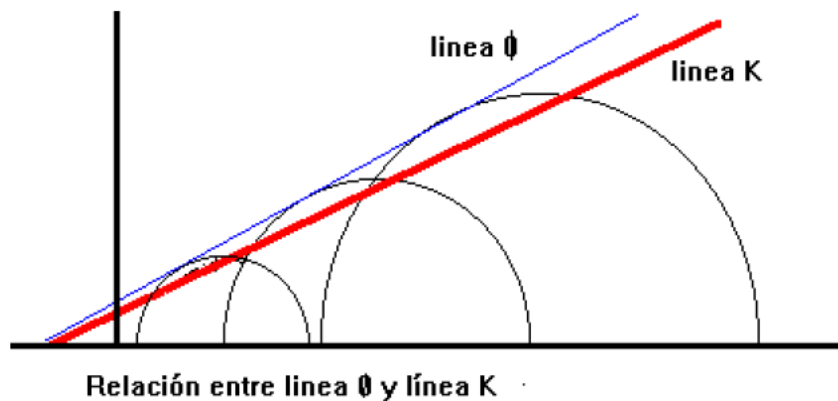
El procedimiento consiste en dibujar los puntos (p, q) siendo p la abscisa. Luego unir los puntos (llamada trayectoria de esfuerzos o línea K) medir la pendiente (α) y determine intercepto con la ordenada (a) .aplicando principios trigonométricos en la siguiente figura #. Se obtiene.

Para φ :

$$\text{sen } \varphi = \tan \alpha$$

Para c:

$$c = a/\cos \varphi$$



4.3. ENSAYO DE CORTE DIRECTO Y CORTE DIRECTO MODIFICADO

Corte directo:

Este ensayo consiste en colocar el espécimen del ensayo en un molde de cizalladura o corte directa, la cual se divide en marco o caja de corte superior y marco o caja de corte inferior, se aplica un esfuerzo normal determinado, se consolida el espécimen bajo el esfuerzo normal, y se sueltan los marcos que contienen la muestra y desplazar un marco horizontalmente respecto al otro, a una velocidad constante de deformación y se mide la fuerza de cizalladura y los

desplazamientos horizontales y verticales a medida que la muestra es cizallada. Este ensayo solo se realiza con suelo, al contrario que para el ensayo de corte directo modificado, el cual se realiza con suelo y geotextil.

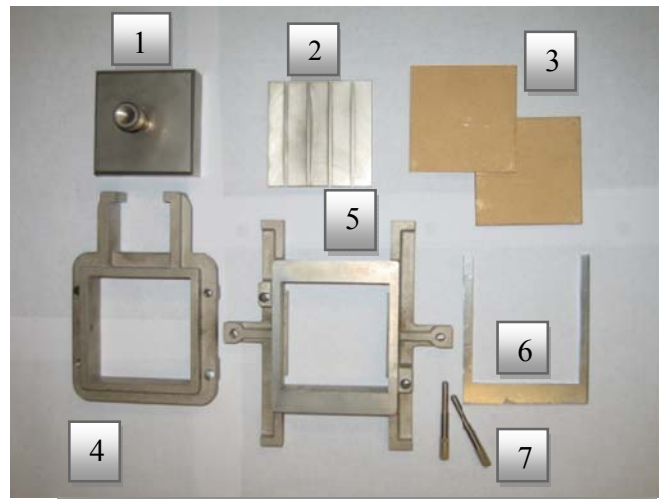


Figura 8: Caja de corte directo modificado para geotextil-suelo

1. Placa superior de la caja de corte
2. Placa inferior de la caja de corte
3. Piedra porosa
4. Marco o caja superior de corte
5. Marco o caja inferior de corte
6. Placa espaciadora (Pullout)
7. Tornillos ajustables entre la caja inferior y caja superior.

El siguiente procedimiento describe detalladamente el ensayo de corte directo modificado. Este ensayo encuentra los parámetros de esfuerzos cortantes de la interacción entre los dos materiales, que son el suelo y el geotextil.

Procedimiento de ensayo corte directo modificado:

1. Medir las dimensiones interiores de la caja de de corte. (2.35"x2.35")

2. **Encontrar la masa necesaria para la densidad requerida de la muestra.**
 - Elija la densidad relativa específica que se requiere.
 - Buscar la máxima y mínima densidad del suelo que se está usando, en nuestro caso, arena de Ottawa (Max $\rho = 1,8$ min = 1.55).
 - A continuación, utilice esta fórmula para calcular la masa necesaria para la muestra.

$$Dr = \frac{\frac{1}{\rho_{min}} - \frac{1}{\rho}}{\frac{1}{\rho_{min}} - \frac{1}{\rho_{max}}}$$

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$v = l * l * h$$

$$m = \frac{v}{\frac{1}{\rho_{min}} - Dr * \left(\frac{1}{\rho_{min}} - \frac{1}{\rho_{max}} \right)}$$

Dr = Densidad relativa

$\rho_{max} = 1,8$ arena Ottawa.

$\rho = 1,55$ min arena Ottawa

v = Volumen

l = Ancho de la muestra.

h = Altura de la muestra.

3. **altura o espesor** de la muestra es que 1 pulgada en total, incluyendo el bloque de aluminio, el suelo tiene un espesor de 0.5 pulgadas.
4. Pesar la masa inicial de suelo encontrada en la anterior ecuación.
5. Divida la masa que se encontró en el paso 2 en 2 partes iguales
6. **Adherir el geotextil en el bloque de aluminio.**

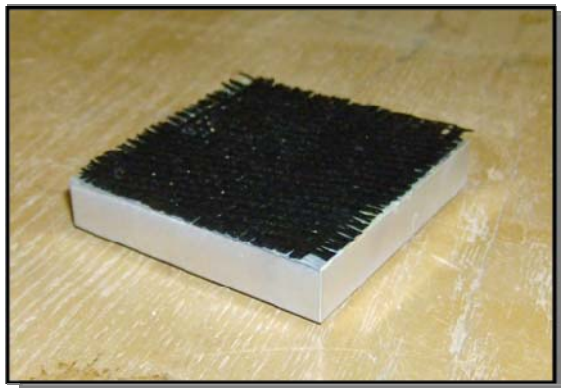


Figura 9: Geotextil adherido al Bloque de Aluminio (corte directo modificado)

7. **Preparación de la caja inferior de la muestra.**

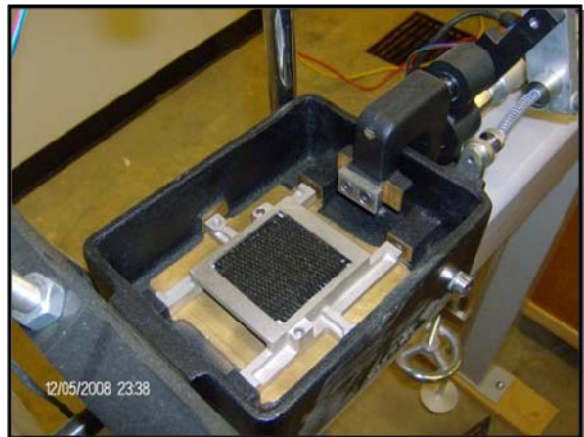


Figura 10: Bloque de aluminio en la caja inferior. (Ensayo de corte directo)

-Coloque el bloque de aluminio con el geotextil en la parte inferior de la caja de corte.

8. Coloque la parte superior de la caja de corte en la parte superior de la parte inferior.

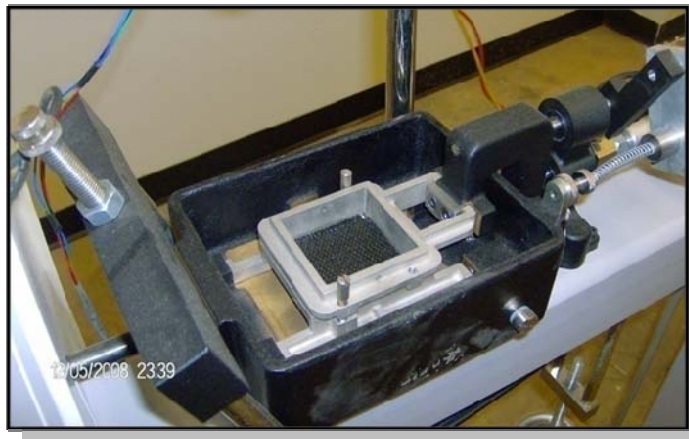


Figura 11: Caja de corte directo modificado para geotextil-suelo.

9. Apretar los dos tornillos de bloqueo, uno ubicado a cada lado de la caja.

10. Agregar las capas de suelo a la caja de cizalladura.

- Añadir la mitad de la masa a la caja de cizalladura.
- compactar la arena golpeándola por lo menos 25 veces.

11. Repita el paso 10 con la otra mitad de la arena.

12. Al finalizar la compactación de la muestra.

- Agregar la piedra porosa en la parte superior de la última capa de suelo.
- Colocar el filtro en la parte superior de piedra porosa.
- Colocar la placa de presión en la parte superior del filtro.

13. Preparar la muestra en la máquina de corte.

-Compruebe que la Máquina de corte y la caja se encuentra en la posición adecuada para la prueba.

14. Instalar los dos tornillos ajustables.

-Con cuidado, retire los dos tornillos de bloqueo.

-Coloque el brazo de presión en la parte superior de la muestra, ajustando los tornillos hasta que esté nivelada.

-crear una abertura entre los marcos de la caja de corte directo de aproximadamente 0,025 pulgadas utilizando tornillos ajustables y, a continuación, después de aplicar la primera carga vertical soltar los tornillos.

15. Compruebe y asegúrese de que todos los sensores están en la posición adecuada, no olvide añadir el pin para el desplazamiento vertical del sensor.

16. Establecer la carga vertical (o esfuerzo vertical) a un valor predeterminado.

17. Encienda el computador y la máquina de corte.

18. Configuración de la computadora

-Encienda el ordenador.

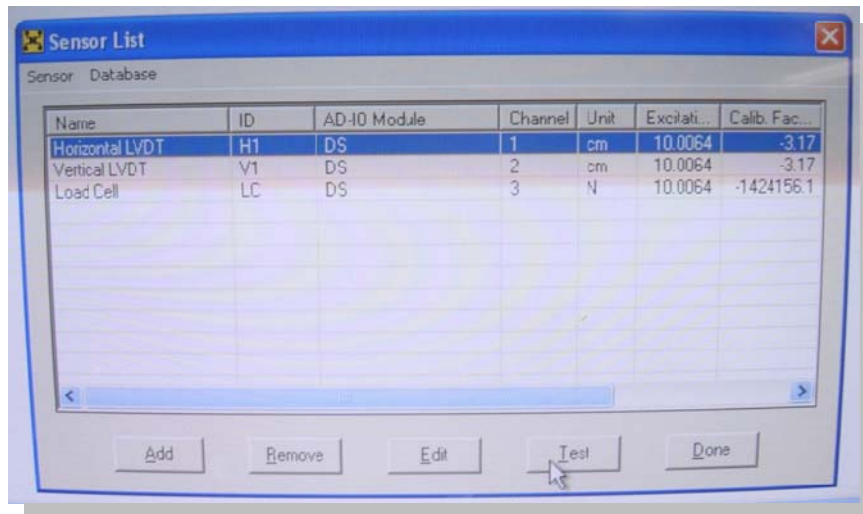
-Inicie el programa *TestNet-GP*.

-Haga clic en el menú desplegable de *configuración de menú*.

-Haga clic en los *sensores*.

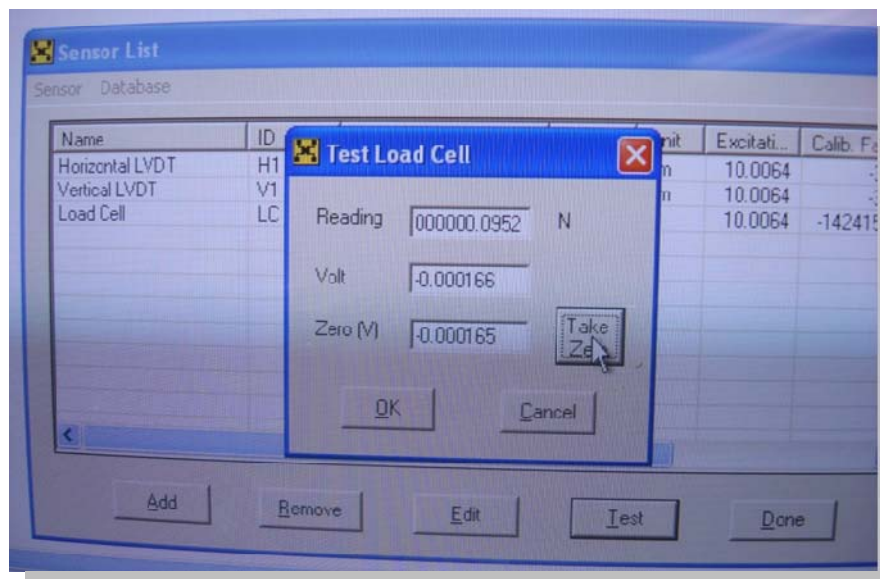
-En la lista de sensores, marca uno de los sensores haciendo clic en él, a continuación, haga clic en el botón de prueba.

-Repita el paso 17 para los otros dos sensores.



19. Función de prueba y calibración de los sensores.

- Calibración de los tres tipos de sensores: LVDT horizontal, LVDT vertical, LVDT de carga.
- Compruebe que todos los sensores LVDT están funcionando correctamente, aplicándole un pequeño movimiento a cada LVDT.
- Haga clic en el "Zero Sensor". Para ajustar los LVDT a Cero
- Compruebe que el valor de lectura ahora es cero. El valor debe estar cerca de cero, pero siempre será un poco más de cero debido a la fluctuación en los sensores.



20. **Clic en el menú principal en *Sensor / Sensor Groups***. Y en este menú, seleccione todos los sensores que se van a requerir para el ensayo de corte directo, a continuación, haga clic en "*Done*"
21. **Abra el *Sensor / Reading Schedules* en el menú principal**. Elija ensayo de corte directo. En esta opción puede programar el tiempo de la toma de datos, según el interés del usuario. Ejemplo, se puede programar para que se lean los desplazamientos de cada LVDT cada 1 segundo o cada 0.5 segundos. A continuación, haga clic en "*Done*"
22. **Haga clic en el botón *Task / Add***.
- Elija el nombre del proyecto y haga clic en "*Save*"
 - Elija corte directo en el Grupo de Sensores y lectura Grupo.
 - Haga clic en el "*link to Excel*", y elija la plantilla correcta de acuerdo con las dimensiones de la caja de corte utilizada.
23. Introduzca la velocidad deseada en la Máquina de corte. Para esta prueba usamos 1 mm / min.
24. Presione el botón de dirección >> *Run* para iniciar la prueba, para el ensayo de corte directo o corte modificado, comprobar que la caja se está moviendo de izquierda a derecha. Asegúrese de iniciar la lectura de los sensores en la computadora al mismo tiempo que se inicie el ensayo en la máquina de corte directo.
25. Correr el ensayo.

SIGNIFICADO Y USO.

El ensayo de cizalladura directa es adecuado para la determinación relativamente rápida de las propiedades de resistencia de materiales consolidados.

El ensayo puede ser hecho en todo tipo de suelos inalterados, remoldeados o compactados. Hay sin embargo una limitación en el tamaño máximo de las partículas presentes en las muestras

Los resultados del ensayo son aplicables para estimar la resistencia al corte en una situación de campo donde ha tenido lugar una completa consolidación bajo los esfuerzos normales actuales.

Los resultados de varios ensayos pueden ser utilizados para expresar la relación entre los esfuerzos de consolidación y la resistencia a la cizalladura.

Durante el ensayo de cizalladura hay rotación de los esfuerzos principales, lo que puede o no corresponder a las condiciones de campo. Aun más, la ruptura puede no ocurrir en un plano de debilidad, puesto que ella tiene que ocurrir cerca a un plano horizontal en la parte media del espécimen. La localización fija del plano de ruptura en el ensayo puede ser una ventaja en la determinación de la resistencia al corte a lo largo de planos reconocidamente débiles dentro del material del suelo y para analizar las interfases entre materiales diferentes.

El intervalo de los esfuerzos normales, la velocidad de deformación y las condiciones generales del ensayo deben ser seleccionados para reflejar las condiciones específicas del suelo que se está investigando.

4.4. PULLOUT

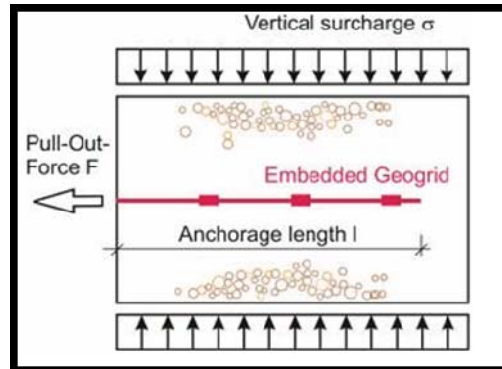


Figura 12: Diagrama ensayo de Pullout.

En este ensayo, la fricción se desarrolla cuando el geotextil embebido en el suelo se trata de arrancar. Para esto una tira de geotextil es colocada en medio de las dos marcos de la caja de corte directo rellenas con suelo compactado. La fuerza requerida para arrancar el geotextil puede ser obtenida por los esfuerzos obtenidos en el ensayo. Determinando el esfuerzo de arrancamiento con diferentes esfuerzos normales, se obtiene el ángulo de fricción por medio del arranque.



Figura 13: Máquina de corte directo y Pullout

La resistencia del ensayo Pullout es dependiente de la fuerza normal aplicada al suelo, la cual moviliza la resistencia al cortante en las dos superficies del geotextil.

Para ensayos Pullout si las partículas del suelo son más pequeñas que las aberturas del geotextil la eficiencia es mayor, de lo contrario puede ser baja. **Sin embargo para todos los casos las resistencias en el ensayo de pullout son menores que la suma de las resistencias del ensayo de corte directo modificado.**

Esto es debido a que el geotextil al encontrarse tensionado durante el ensayo presenta algunas deformaciones. Una de las causas es que las partículas de suelo se reorientan solas reduciendo los esfuerzos de corte de la interfase suelo – geotextil, resultando en bajas resistencias de Pullout.

Para el análisis de los coeficientes de interacción entre el suelo y el geotextil se adaptó la máquina de corte directo para poder analizar los resultados de ambos ensayos de laboratorio, corte directo modificado y el de arrancamiento o Pullout, a la misma escala.

Para la adaptación de la máquina de corte directo a una máquina que pudiera realizar el ensayo de Pullout se modificó la tapa superior de la caja de corte, reemplazándola por un bloque de aluminio plano. Este cambio se realizó teniendo en cuenta que el movimiento de la parte superior de la caja de corte ya no sería cero. Entonces era necesario un rodillo que permitiera el movimiento horizontal de la caja de corte y poder aplicar el esfuerzo vertical sobre la muestra dentro de la caja.

A continuación se muestra la maquina original de corte directo figura 14 y las modificaciones necesarias para el ensayo de Pullout, figura 15.



Figura 14: Caja de corte original. (Ensayo de corte directo)



Figura 15: Modificación de la máquina de corte directo. (Pullout)

Las dimensiones del geotextil embebido dentro de la muestra de suelo es de (1.65"x5") en total, pero las dimensiones efectivas en contacto con el suelo son de (1.65"x2") dimensiones del geotextil dentro de la caja de corte, estas dimensiones

se adoptaron, para dejar un margen igual de arena alrededor del geotextil. La distancia entre el geotextil y los bordes de la caja es $d = 0.35''$

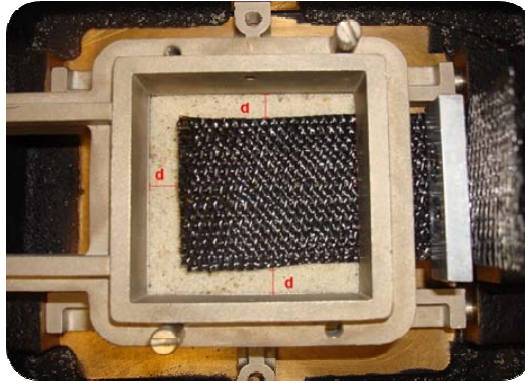


Figura 16: Geotextil dentro de la máquina de corte directo. (Pullout)

Se fijo un extremo del geotextil en la maquina dejándola libre el otro extremo embebido dentro la muestra de suelo. Cuando el movimiento horizontal comienza, la caja se mueve alejándose del geotextil con una velocidad constante de 1mm/minuto. Esto simula el arrancamiento del geotextil en una estructura reforzada. Este material absorbe la energía a tensión dando más estabilidad al talud. El geotextil puede fallar por a.) Deformaciones muy grandes o por b.) Rotura del geotextil. Esta no es recomendable para el estudio de los coeficientes de interacción entre los dos materiales suelo-geotextil, debido a que, es solo de interés el valor pico del ángulo de fricción, no valores residuales. Se encontró valores muy pequeños para el caso de Pullout en la orientación del geotextil XD (cross- Direction), debido a que el geotextil fallo rápidamente y los valores obtenidos no son comparables con los otros casos de Pullout para el geotextil en

la dirección MD (Machine-Direction), en el cual el geotextil resiste mas a cargas de tensión.

Esta falla del geotextil en XD, se puede atribuir al hecho que el geotextil se encuentra libre entre la caja y la conexión del geotextil, donde el material falla y se acumulan los esfuerzos, ya que la otra parte del geotextil se encuentra protegido dentro de la muestra compactada de arena.



Figura 17: Geotextil embebido en la caja de corte directo.

Procedimiento de ensayo de Pullout:

1. Medida de la masa deseada. **(160 g)**
2. Dividir la masa en 4 muestras iguales. **(40g)**
3. Corta una tira de geotextil para ser utilizados en la caja de cizalladura, Medidas de la muestra **(2.35x2.35) in.** Con una altura de 1 pulgada.
4. **Configuración de la máquina de corte.**
 - Mover la máquina de corte hacia la derecha utilizando el botón >>.
 - Instalar al brazo del peso el rodillo modificado para la aplicación

de los esfuerzos sobre la muestra de suelo reforzado.

- Unir el geotextil a la máquina de corte,
- colocar la caja de corte dentro de la máquina. Asegúrese que la caja de corte este colocada en la dirección correcta para la prueba de arrancamiento o Pullout, es contrario al de corte directo.

5. Establecer la caja inferior cortante.

- 1. Placa de aluminio
- 2. Papel filtro
- 3. Piedra porosa
- Agregar la primera capa de arena y compactar con 25 golpes.
- Después de la arena ha sido compactada hasta el nivel deseado, utilizar el bloque de metal grande para terminar la compactación.
- Medida desde la parte superior de la capa de arena hasta el borde inferior de la caja de cizalla, la distancia será igual para todos los cuatro lados. (la altura por capa es de 0.25”).
- Repetir para la segunda capa de arena.
- Después de la segunda capa de arena compactada asegúrese de que no haya arena en los bordes inferiores de la caja de cizalladura.

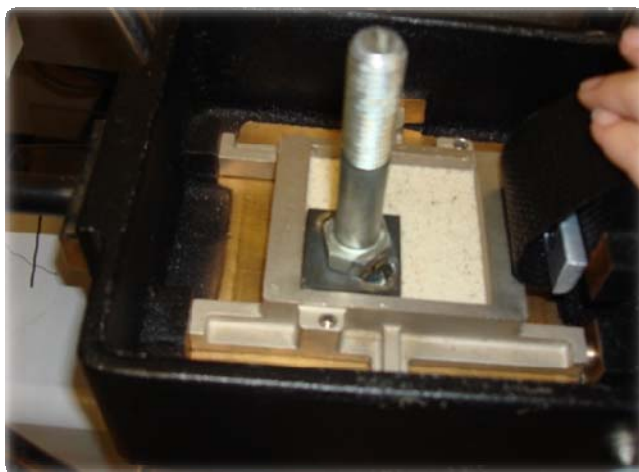


Figura 18: Compactación de la primera capa para el ensayo Pullout

6. Configuración para la caja superior de corte.

- Con cuidado, colocar el geotextil en la parte superior de la segunda capa de arena.
- Coloque la placa espaciadora de modo que el extremo abierto se enfrente al geotextil.
- Asegúrese de que no hay arena en los bordes inferiores de la caja de cizalladura.
- Apriete los dos tornillos que unen las dos partes de la caja.
- Añadir tercera y cuarta capa de arena, repita los mismos pasos que se usan para la primera y segunda capa.

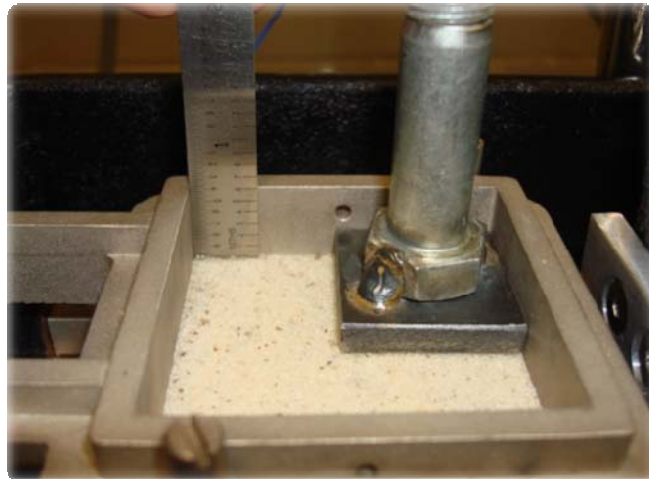


Figura 19: Compactación de la tercera capa de suelo, ensayo de Pullout.

- Después de la cuarta capa, agregar la piedra porosa.
- Filtro de papel
- Placa de aluminio.



Figura 20: Muestra armada para el ensayo de Pullout.

7. Configuración de la computadora

- Encienda el ordenador.
- Poner en marcha el programa TestNet-GP.
- Haga clic en el menú desplegable de configuración de menú.
- Haga clic en los sensores.
- En la lista de sensores, marcar uno de los sensores

8. haciendo clic en el sensor y en el botón de test o prueba.

- la calibración de los sensores se realiza igual que para el ensayo de corte directo, ver procedimiento de corte directo modificado.

9. Abra el Sensor / Reading Schedules del menú. Elija Pullout, y asegúrese de que la lectura los valores son correctos, a continuación, haga clic en "Done".

10. Haga clic en la Task / Add button. -- Elija el nombre del archivo que desea guardar el proyecto, haga clic en "Save"

Elija a Pullout Grupo de Sensores.

- Haga clic en el "Link to Excel", y elija la plantilla correcta de acuerdo con el cuadro de cizalla utilizada.

- Haga clic en OK para iniciar la grabación.

11. Introduzca la velocidad deseada en la Máquina de corte. Para esta prueba usamos 1 mm / min.

12. Presione el botón de << y Run para iniciar la prueba, para el ensayo de Pullout la caja se mueve de derecha a izquierda. Contrario que para el caso de Corte Directo. Asegúrese de iniciar la lecturas de los LVDT en la computadora al mismo tiempo.

5. FAST LAGRANGIAN ANALYSIS OF CONTINUA (FLAC)

FLAC es un poderoso programa de modelamiento en dos dimensiones continuo, para suelos, rocas y comportamiento estructural. Usado interactivamente o en modo batch, es una herramienta de diseño y análisis general para ingenieros geotécnicos, civiles y de minas, que puede ser aplicada a una amplia variedad de problemas en estudios de ingeniería.

El método de diferencia finitas explícito utilizado por FLAC, lo hace idealmente apropiado para modelar problemas geomecánicos que consisten en varias etapas, tales como excavaciones secuenciales, rellenos y cargas de diversa naturaleza. El método puede aceptar grandes desplazamientos, deformaciones y comportamiento no lineal del material, aún cuando la falla abarque una gran área. El programa trae incorporado el lenguaje de programación FISH, que permite agregar capacidades de análisis y procesamiento de los modelos acorde con los requerimientos específicos de los diversos usuarios.

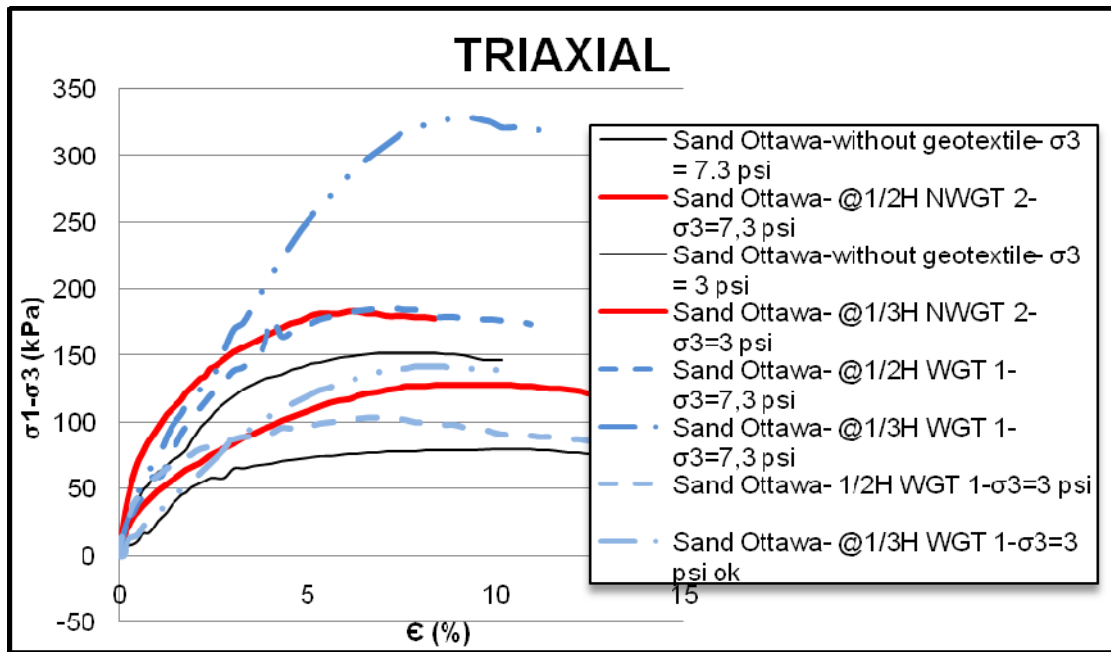
La más reciente incorporación a la familia de software geomecánico de Itasca es el programa FLAC/Slope, el cual constituye un modelador de propósito especial diseñado para realizar cálculos de factor de seguridad en análisis de estabilidad de taludes.

6. ANALISIS DE RESULTADOS:

El siguiente análisis está encaminado a proporcionar un enfoque alternativo en los ensayos realizados como base en la investigación de las estructuras de suelo reforzadas con geotextil, esta investigación se desarrolla con diferentes ensayos de laboratorio para obtener los diferentes parámetros necesarios para el diseño de estructuras de suelo reforzadas con geosintéticos. Se utilizo arena de Ottawa y geotextil Mirafi HP370 tejido, en todos los ensayos.

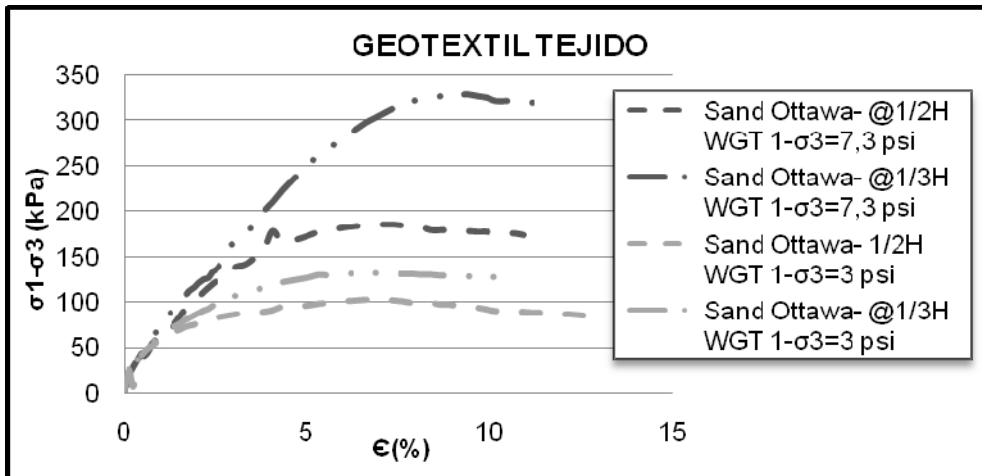
El primer ensayo que se realizo fue el Triaxial para la obtención de los parámetros de corte del suelo (arena de Ottawa), también se realizo este ensayo con diferentes capas de geotextil analizando la importancia en la resistencia del suelo para diferentes formas de refuerzo con geotextiles, se pudo observar que entre más capas de geotextil se utilicen, la resistencia pico es mayor lo cual hace que el suelo sea más resistente a la compresión y sufra menos deformaciones.

6.1. RESULTADOS ENSAYO TRIAXIAL

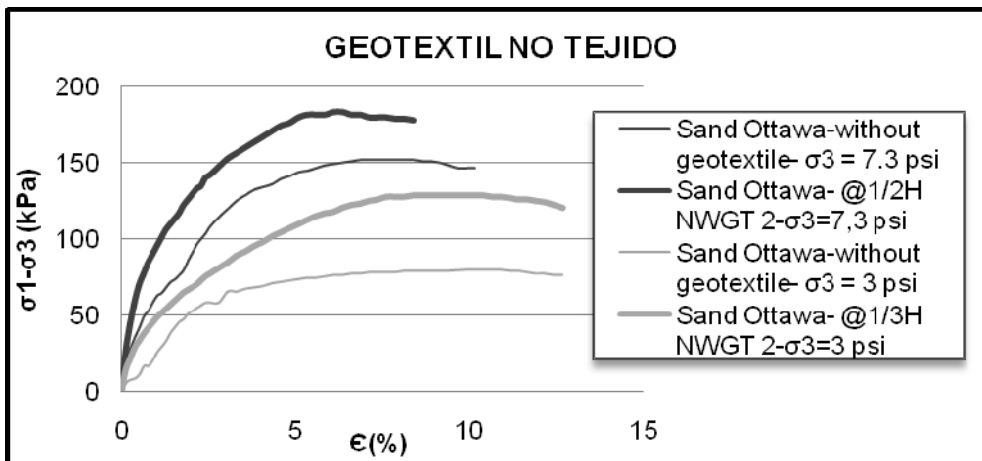


Grafica 1: Esfuerzos-deformaciones, ensayo Triaxial

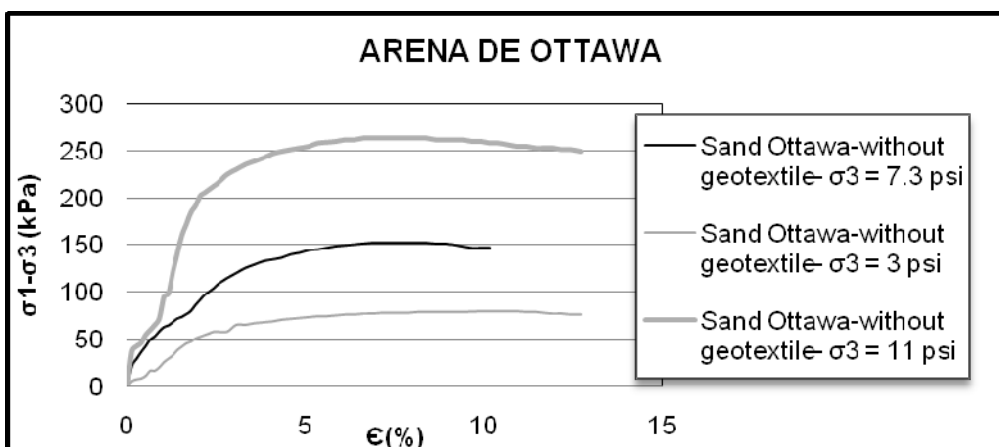
Como se puede observar en la grafica 1 entre mas capas de geotextil como en este caso a 1/3 de la altura original, (tres capas de suelo en medio de dos refuerzos de geotextiles), el suelo sufre menos deformación axial a cargas más altas, es más resistente a esfuerzos cortantes.



Gráfica 2: Ensayo Triaxial para geotextil tejido.



Gráfica 3: Ensayo Triaxial para geotextil no tejido.



Gráfica 4: Ensayo Triaxial para Arena de Ottawa.

Solo arena



geotextil a 1/2H



2 geotextiles a 1/3H



Figura 21: Tipos de muestras Ensayo Triaxial.

Para este ensayo Triaxial se corrió con dos tipo de geotextil (tejido y no tejido), y se observó una similitud entre la muestra con geotextil tejido y con refuerzo no tejido. Pero se recomienda el geotextil tejido para la función de refuerzo, debido a que presenta mayor ángulo de interacción suelo- geotextil por su mayor rugosidad. Mejor resistencia a la tracción y bajas deformaciones. Por esta razón solo se realizó los ensayos de interacción suelo- geotextil con geotextil tejido.

Mediante el método de Duncan se puede hacer una aproximación de la ecuación que describe el comportamiento del suelo bajo el ensayo Triaxial, con este ecuación podemos hallar el modulo de Young (E) y el radio de Poisson (ν), Este modulo se puede hallar con las relaciones siguientes que dependen del modulo de Bulk (K) y modulo cortante (G) para modelar el comportamiento del suelo con refuerzo, en este caso se modelo con FLAC.

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

Para la arena de Ottawa se encontró las siguientes características.

Angulosidad= redondeada

Gravedad especifica=2.66

Tamaño del grano D50 mm= 0.4

Unidad de peso seco máximo (kN/m³)= 17,4

Unidad de peso seco mínimo (kN/m³)= 15.6

Estos valores experimentales fueron reportados por o'Rourke (1990).

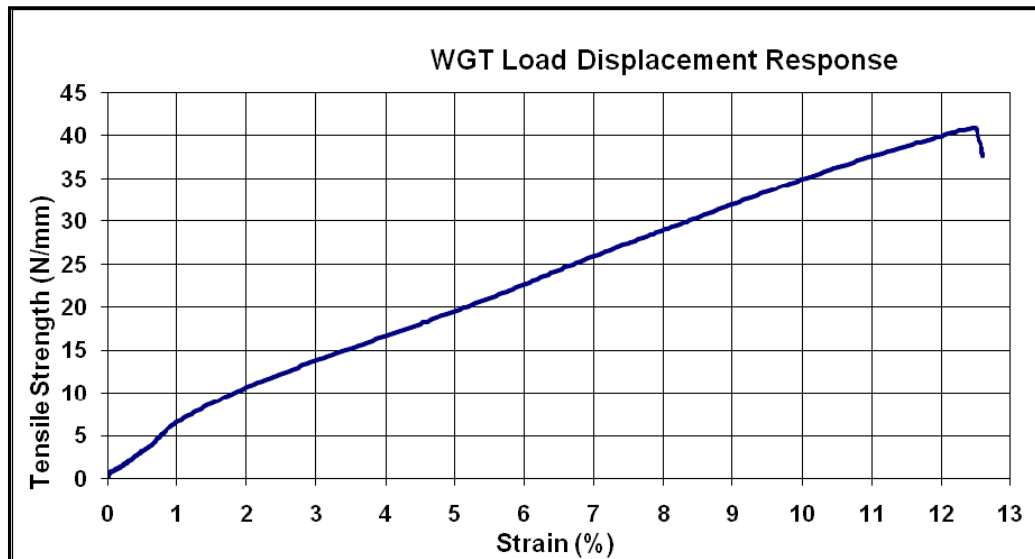
6.2. RESULTADOS DE ENSAYO WIDE WIDTH TENSIL STRENGTH

También se realizó un ensayo del solo geotextil, que nos pudiera describir el comportamiento del material por separado al suelo. Este ensayo se corrió con Wide width tensile test, con el cual se puede calcular los parámetros de esfuerzo tensil (J) y el esfuerzo ultimo que este alcanza (Tf). La densidad de dicho material es obtenida por catálogos de los fabricantes del producto.

Tabla 2. Propiedades físicas del Geotextil

Mirafi HP370	
Grab Tensile/ Elongation kN (lb)/%	1.78 x1.10 (400x250)/15x6
Max Strength (N/m)	0.409
displacement at Failure (m)	0.012
Max. Strain	13.276

Por ensayos en el laboratorio obtenemos las siguiente grafica del cual podemos derivar los parámetros de diseño en estructuras de suelo reforzado.



Grafica 5: deformación contra esfuerzo de Wide width tensile

La pendiente de la curva nos indica el modulo (J); en este caso dio un valor de **32.72** N/m/m. el desplazamiento máximo antes de que el geotextil fallara fue de 0.012 m de longitud. Con las características del geotextil y el suelo por individual se prosigue al cálculo de la interacción entre estos dos materiales; para este propósito se analizo los resultados de dicha interacción por medio de los ensayos de corte directo suelo con geotextil y el Pullout.



Figura 22: Geotextil en Wide width test

6.3. RESULTADOS ENSAYO DE CORTE DIRECTO

A continuación se muestran los resultados para el ensayo de corte directo para solo suelo y resultados con la interacción de ambos materiales en estudio.

Primero se corrieron ensayos con el mismo suelo pero a diferentes densidades para conocer la influencia de la densidad en el comportamiento del suelo, el primer ensayo se corrió con una densidad relativa de 56% asumiendo que el suelo se encuentra en estado suelto a esta densidad.

La segunda opción de ensayo se corrió con las mismas características del primero pero con una densidad relativa más alta de 88% asumiendo que con esta densidad el suelo se encuentra compacto, se espera que para este ensayo ocurra dilatación debido al arreglo de las partículas compactadas sometidas a cortante.

Se obtuvieron los siguientes ángulos de fricción:

Para el suelo suelto de 56% de densidad relativa el ángulo de fricción de la arena de Ottawa fue de $\phi = 33.3^\circ$; para el suelo compactado a 88% de densidad relativa se encontró un ángulo de fricción de $\phi = 42.2^\circ$.

Esto demuestra que entre más compacto este el suelo tiene más resistencia y puede ser más estable ya que las partículas actúan más entre si, al estar mejor compactado existe más fricción entre las partículas, y esto estabiliza la estructura.

Conociendo la atribución de la densidad en la resistencia del suelo se desarrolla los ensayos para conocer el comportamiento de ambos materiales en interacción, en este caso se desarrollan los ensayos con densidades relativas altas de 88%, donde se considera que el suelo tiene mejores características para el soporte de las estructuras de suelo, haciéndolas más estables.

6.4. RESULTADOS ENSAYO DE CORTE DIRECTO MODIFICADO

Para la obtención de los parámetros de interacción, se realizó los ensayos con la máquina del corte directo modificado, pero en la parte inferior se adhirió el geotextil con un pegante especial para que al momento del ensayo no se fuera a mover el geotextil, perdiéndose la lectura de la verdadera interacción entre el suelo y el material geosintético.

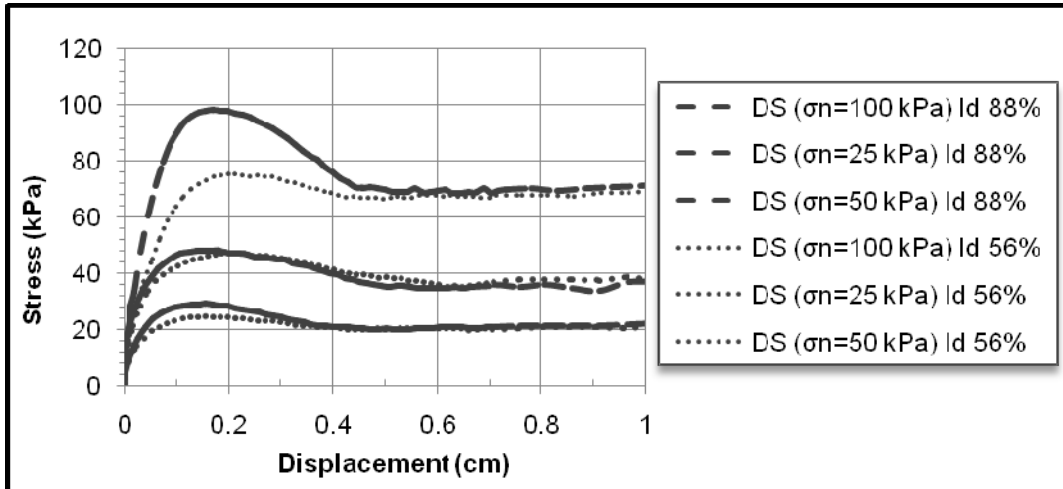
Los ensayos se realizaron teniendo en cuenta la dirección del tejido del geotextil, el cual muestra la influencia del arreglo de los tejidos en los parámetros de interacción, para un caso el ensayo se realizó con el tejido principal en la dirección de la máquina (MD) y el otro en el sentido perpendicular de la máquina (XD). El ángulo de interacción geotextil-suelo es para (MD) es de $\phi=36.94^\circ$ y el ángulo de interacción para el sentido perpendicular de la máquina (XD) es de $\phi=28.26$; lo cual se puede observar que la posición del geotextil en la estructura de refuerzo puede influenciar en el ángulo de interacción entre el suelo y el geotextil. Para el sentido (MD) se observó mayor resistencia al cortante que para el sentido (XD).

En la figura anterior se observa el geotextil adherido a un bloque de aluminio, este bloque se ubica en la parte inferior de la caja de corte directo, y la otra mitad se compacta arena de Ottawa, se realiza el ensayo aplicando una velocidad constante de 1mm/metro, dividiendo la caja superior de la inferior.

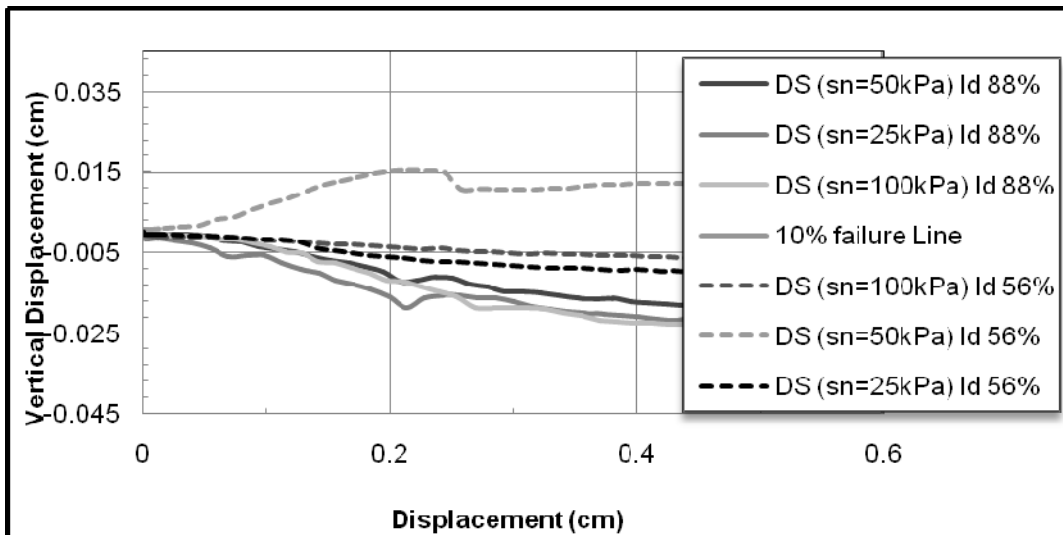
Para el gráfico a continuación describe el ensayo a corte directo con geotextil y sin geotextil, por lo tanto mide el ángulo de fricción entre los dos materiales y el del suelo propio.

6.4.1. GRAFICAS DE RESULTADOS

Las graficas a continuación son el resultado de los esfuerzos contra deformaciones horizontales para corte directo y para corte directo modificado y sus respectivos desplazamientos horizontales.



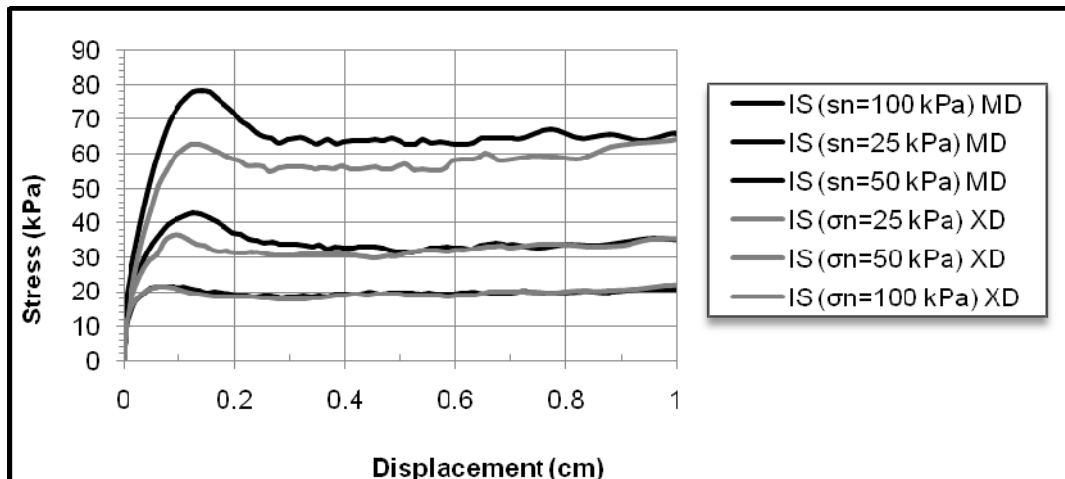
Grafica #. Grafica 6: Esfuerzo- desplazamiento ensayo de corte directo, solo arena.



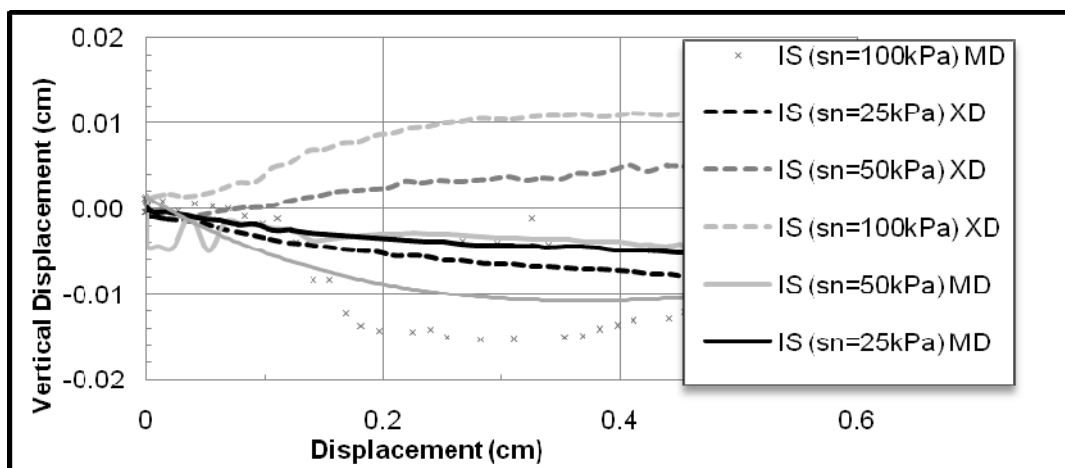
Grafica 7: Desplazamiento vertical- desplazamiento horizontal, ensayo de corte directo, arena de Ottawa

Para corte directo con densidad relativa de 88% se observó desplazamientos verticales pronunciados, Máximo desplazamiento vertical 0.025 cm a un esfuerzo normal de 100kPa

Para corte directo con densidad relativa de 56% se observa menos desplazamientos verticales, se puede observar hasta expansión del suelo. Máximo desplazamiento vertical 0.01cm a un esfuerzo normal de 25 kPa.



Grafica 8: Esfuerzo- desplazamiento, ensayo de corte directo modificado, geotextil y arena de Ottawa



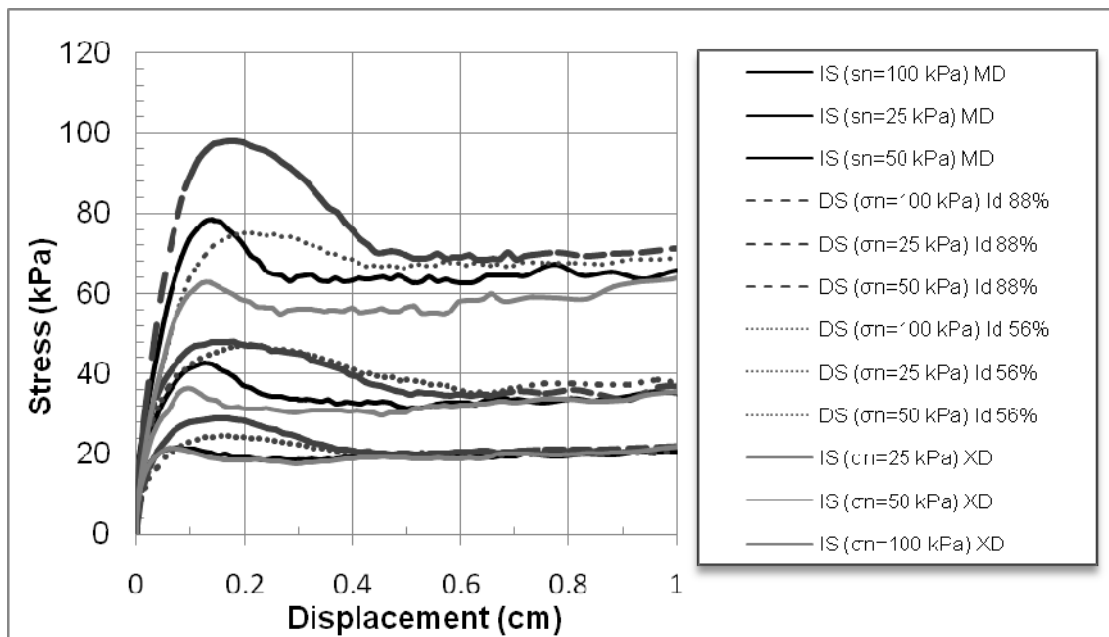
Grafica 9: Desplazamiento vertical- desplazamiento horizontal, ensayo de corte directo modificado, geotextil y arena de Ottawa.

Para Corte directo modificado en la dirección de MD se observo pequeños desplazamientos verticales. Mayor desplazamiento fue de 0.012 cm para esfuerzo normal de 100kPa.

Para Corte directo modificado en la dirección de XD se observó pequeños desplazamientos verticales. El mayor desplazamiento fue de 0.01 cm para el esfuerzo normal de 25kPa

Según los desplazamientos verticales se pudo concluir que para los ensayos de corte directo denso y para la orientación de las fibras del geotextil en MD, se obtuvieron mayores desplazamientos verticales con esfuerzos verticales mayores en este caso para esfuerzos verticales de 100 kPa. Esta son las combinaciones mejores de estructuras de refuerzo.

Contrario pasó para corte directo con arena suelta y corte directo modificado para XD, el mayor desplazamiento vertical ocurrió con el menor esfuerzo vertical de 25 kPa. El sentido de las fibras juega un papel importante incluso en el ángulo de interacción, sin tener en cuenta las fuerzas a tracción que el geotextil también sufre, pero que no pueden ser analizadas en estos tipos de ensayos.



Grafica 10: Resultados Corte directo y corte directo modificado

Entre mayor sea el esfuerzo normal, las características del suelo y el geotextil influyen más en el comportamiento del conjunto. Para esfuerzos normales de 25

kPa, se observó que para los diferentes ensayos sea con MD o XD o densidades relativas de 88% o 56%, el comportamiento fue muy similar.

La tendencia de las curvas esfuerzo-deformación señalan que el suelo tiene mejor resistencia en el caso, de la muestra más compacta 88% de densidad relativa, para cualquier esfuerzo normal, sin geotextil. Cuando es el caso con Geotextil es mejor ubicarlo en forma tal que las fuerzas a tracción las soporte las fibras más resistentes ya que este le da un mejor soporte a la estructura para este caso se demostró que MD es la orientación de las fibras más resistente y con mejor ángulo de interacción entre el suelo y el geotextil.

6.5. RESULTADOS ENSAYOS PULLOUT

Para el método de Pullout se puede conocer también el ángulo de interacción entre el suelo y la estructura, y el esfuerzo a la tracción del geotextil, este ensayo simula mejor el comportamiento del geotextil en suelos reforzados sometido a tensión.

Primero se analiza el resultado de la prueba de Pullout para una muestra relativamente pequeña de lo especificado por las normas ASTM, más adelante se discute la influencia de la escala en dicho proceso. Teniendo la muestra de las mismas dimensiones que el ensayo de corte directo, podemos comparar los resultados de ambos procedimientos.

En este ensayo de Pullout del la arena de Ottawa y el geotextil Mirafi HP370, se obtuvo los siguientes resultados:

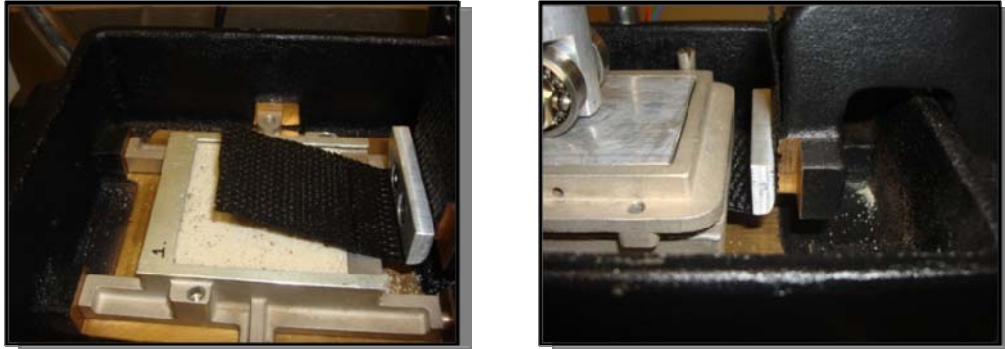
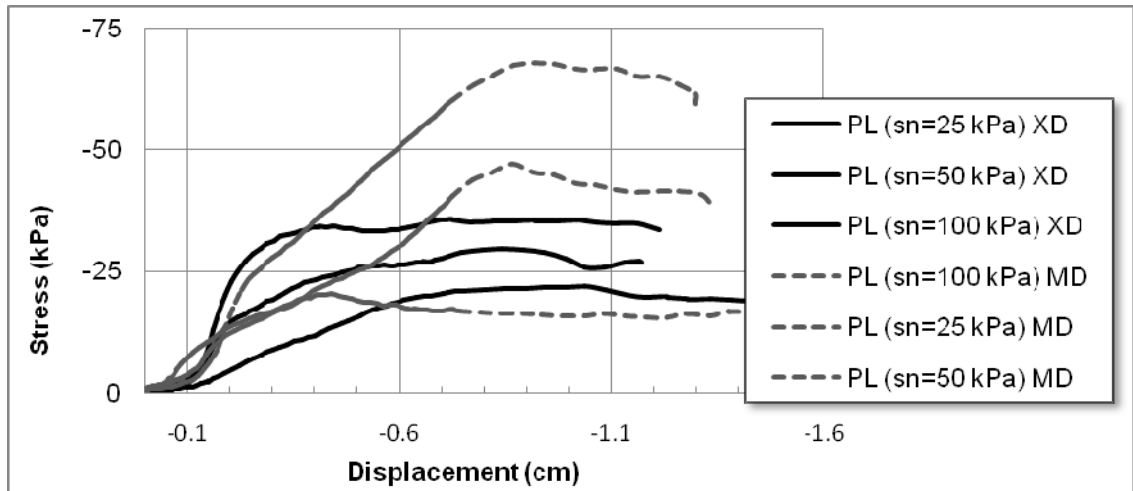


Figura 23: ensayo de Pullout

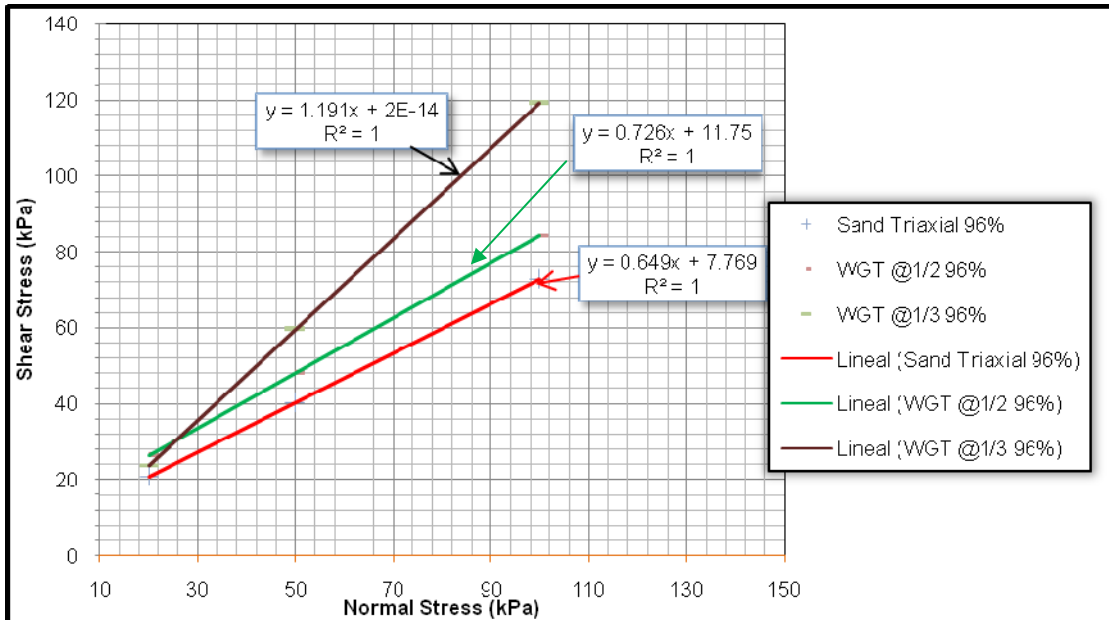
Para el ensayo de Pullout con el geotextil en el sentido paralelo al tejido de la maquina (MD) el ángulo de interacción entre los dos materiales obtenido fue de $\varnothing = 31.13^\circ$ y el ángulo obtenido para el sentido del tejido perpendicular al la maquina (XD) fue de $\varnothing = 9.81^\circ$. Se esperaba que el ángulo de interacción suelo-geotextil fuera menor para (XD) que para (MD), como se dio en el caso anterior, en los ensayos de corte directo modificado. Pero el ángulo obtenido por Pullout es demasiado pequeño para XD. Se pudo observar que al finalizar la prueba en el caso de MD las fibras del geotextil se habían arreglado de tal forma que le daba más fricción al conjunto; en cambio para el ensayo de XD las fibras se debilitaron tanto que llegaron a romperse, sobrepasando el esfuerzo máximo y fallando el geotextil por ruptura.



Grafica 11: Resultados de Pullout

Compilando todos los ensayos corridos encontramos que el ángulo de fricción disminuye con la interacción del geotextil, pero a la vez se vuelve más resistente a deformaciones tanto en compresión como en tensión, debido a que el suelo no resiste a tensión esta es una gran ventaja para la estabilización del suelo.

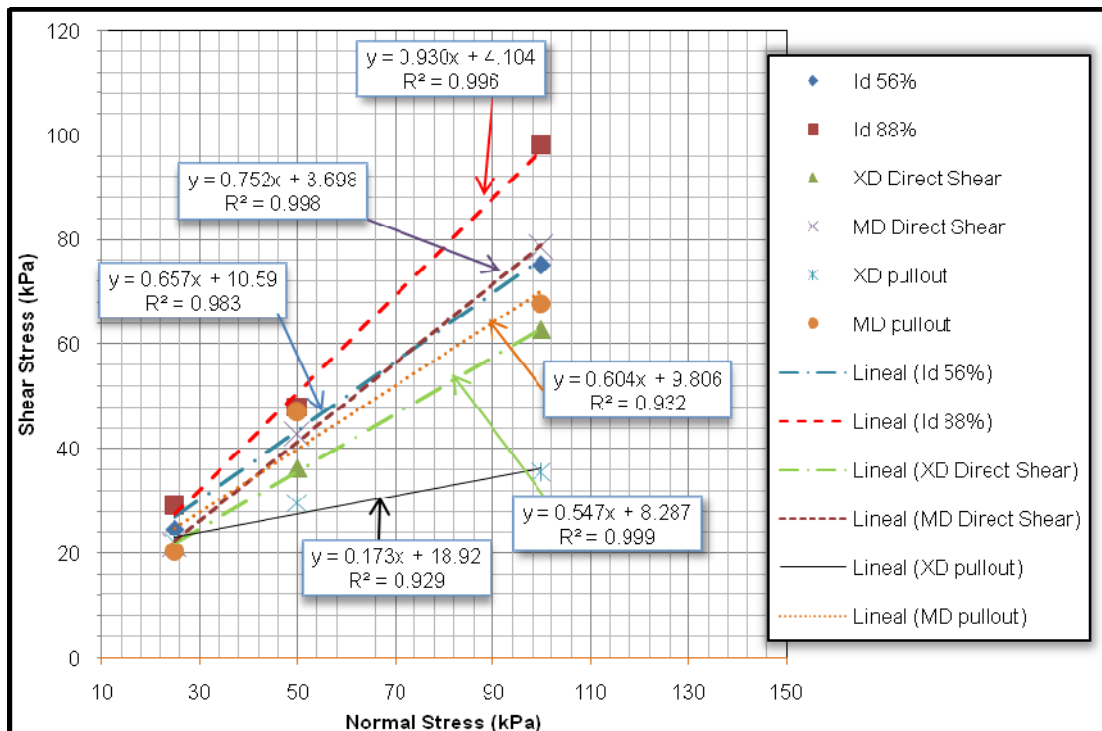
6.6. RESULTADOS DE LOS ANGULOS DE FRICCION DEL SUELO Y DE INTERACCION



Grafica 12: Envolventes de falla. Ensayo Triaxial

<i>TEST</i>	ϕ (grados)	<i>C</i>	<i>C_i</i>
Triaxial Arena	32.98	0	
Triaxial @1/2H refuerzo	35.97	11.75	1.118
Triaxial @1/3H refuerzo	49.98	7.77	1.835

Tabla 2: Parámetros obtenidos por Ensayo Triaxial



Gráfica 13: ángulos de fricción de Pullout y corte directo

Ensayo	δ o \emptyset (Grados)	Ca o C	Ci
Corte directo Arena	42.92 ⁴		
XD Corte directo M.	28.67	8.27	0.588
MD corte directo M	36.94	3.7	0.809
XD Pullout	9.81	10.59	0.186
MD Pullout	31.13	9.8	0.649

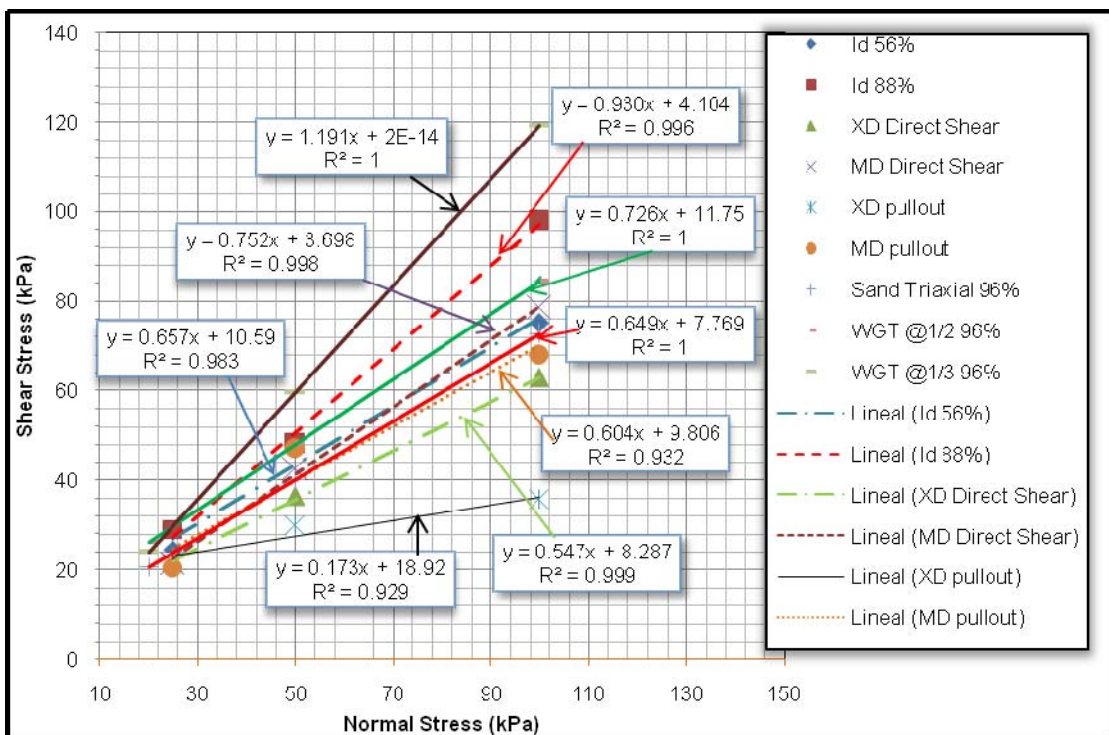
Tabla 3: Parámetros obtenidos por Ensayo corte directo y corte directo modificado

Se puede observar que la tendencia del coeficiente de interacción entre el suelo y la estructura para ensayos de Pullout y de corte directo modificado tienen valores similares para los ensayos con MD (Machine Direction), pero para XD se puede observar que en Pullout el geotextil es muy débil y para esfuerzos muy grandes

⁴ Este ángulo no representa el ángulo de interacción δ , es el ángulo pico \emptyset_p del ensayo de corte directo en solo arena

como en este caso 100 y 50 kPa el geotextil falla y el ángulo obtenido es el ángulo residual mas no el pico.

También hay que tener en cuenta que el área de contacto del geotextil es menor para Pullout que para corte directo modificado, esto puede afectar en el ángulo obtenido, debido a que entre mayor área de contacto haya entre el geotextil y el suelo mayor será el ángulo de fricción según G Venkatappa Rao (1988), demuestra que entre mayor longitud de refuerzo, mayor área de contacto y mayor ángulo de fricción.



Gráfica 14: . Ángulos de fricción de todos los ensayos

TEST	ϕ o δ (grados)	Ca o C	Ci
Corte directo Arena	42.92		
XD Corte directo	28.67	8.27	0.588
MD Corte directo	36.94	3.7	0.809
XD Pullout	9.81	10.59	0.186
MD Pullout	31.13	9.8	0.649
Triaxial Arena	32.98	0	
Triaxial @1/2H refuerzo	35.97	11.75	1.118
Triaxial @1/3H refuerzo	49.98	7.77	1.835

Tabla 4: Parámetros obtenidos en todo los ensayos

Se observo que el coeficiente que se mide por ensayos de corte directo y Pullout son acorde a los ángulos de fricción entre el suelo y el geosintético, pero para ensayos triaxiales el ángulo de fricción que se mide no es el de interacción sino del conjunto del sistema que compone los dos, por eso es el aumento del ángulo de fricción con mas líneas de refuerzo haciendo el sistema más estable.

6.7. ANGULOS DE DILATACION

Ángulos corte directo densidad relativa 56%

σ Normal	τ pico	τ estado critico	ϕ pico	ϕ estado critico	ψ	$\psi/0.8$
25	24.56	19.71	44.49	38.25	6.24	7.80
50	47.15	37.48	43.32	36.86	6.47	8.08
100	75.09	67.20	36.90	33.90	3.00	3.75

Ángulos corte directo densidad relativa 88%

σ Normal	τ pico	τ estado critico	\emptyset pico	\emptyset estado critico	ψ	$\psi/0.8$
25	29.07	20.65	49.31	39.55	9.76	12.19
50	48.09	34.78	43.88	34.83	9.06	11.32
100	98.03	68.62	44.43	34.46	9.97	12.47

Ángulos corte directo modificado densidad relativa 88%, geotextil (XD)

σ Normal	τ pico	τ estado critico	\emptyset pico	\emptyset estado critico	ψ	$\psi/0.8$
25	21.52	18.96	40.72	37.17	3.55	4.43
50	36.36	30.91	36.03	31.72	4.30	5.38
100	62.82	55.76	32.14	29.14	2.99	3.74

Ángulos corte directo modificado densidad relativa 88%, geotextil (MD)

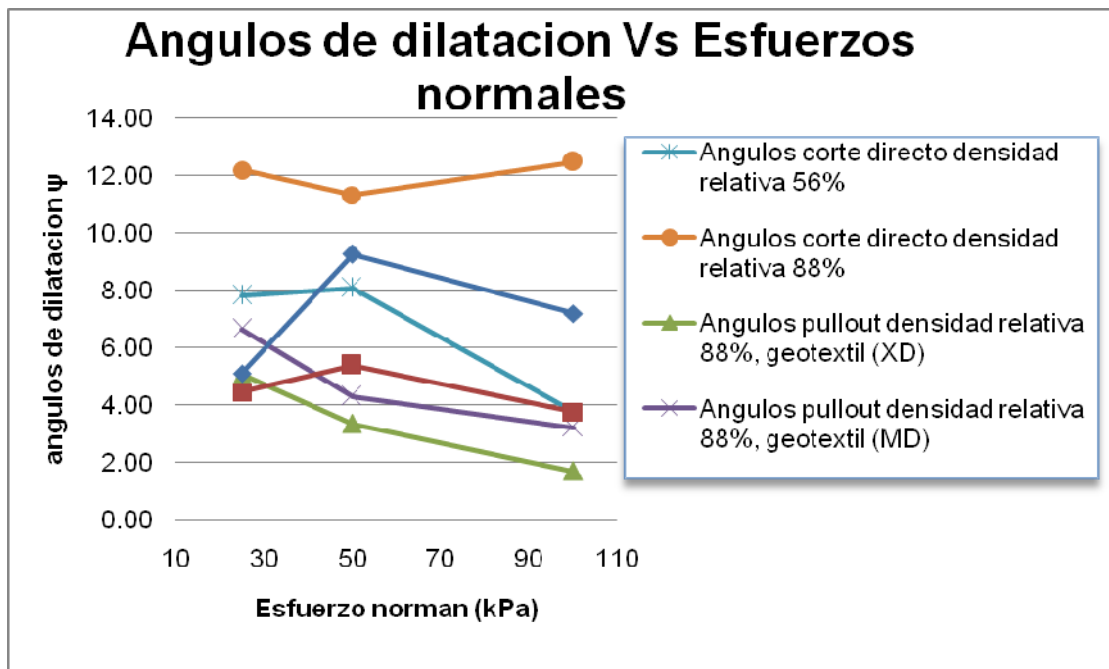
σ Normal	τ pico	τ estado critico	\emptyset pico	\emptyset estado critico	ψ	$\psi/0.8$
25	21.54	18.62	40.75	36.67	4.08	5.10
50	42.74	32.64	40.53	33.13	7.39	9.24
100	78.43	63.37	38.11	32.36	5.75	7.18

Ángulos Pullout densidad relativa 88%, geotextil (XD)

σ Normal	τ pico	τ estado critico	\emptyset pico	\emptyset estado critico	ψ	$\psi/0.8$
25	21.88	18.95	41.19	37.16	4.04	5.04
50	29.69	26.64	30.70	28.05	2.66	3.32
100	35.61	33.01	19.60	18.27	1.34	1.67

Ángulos Pullout densidad relativa 88%, geotextil (MD)

σ Normal	τ pico	τ estado critico	ϕ pico	ϕ estado critico	ψ	$\psi/0.8$
25	20.23	16.66	38.99	33.68	5.31	6.64
50	47.03	41.69	43.25	39.82	3.43	4.29
100	67.89	61.53	34.17	31.61	2.57	3.21



Grafica 15: Resultados de los ángulos de dilatación

Para los ensayos de corte directo y corte directo modificado se puede observar que la dilatación fue mayor que en el caso de Pullout, esto puede alterar los ángulos de interacción reales haciéndolos más pequeños en donde se presentó la dilatación. Teniendo en cuenta que la dilatación es función de los esfuerzos normales aplicados, en la mayoría de casos la dilatación se pierde a medida que se van aumentando los esfuerzos verticales.

En esta investigación se concluyó que el ensayo de Pullout puede exponer valores muy cercanos a los de corte directo modificado a la misma escala, pero se tiene que tener en cuenta la resistencia a tensión de las fibras del geotextil, ya que si se quiere modelar valores reales para el uso en los diseños de estructuras de suelo, se deben utilizar geotextiles que resistan lo suficiente para que estos no fallen a esfuerzos verticales y a velocidades horizontales necesarias en el ensayo, porque al presentarse la falla del geotextil, los valores hallados no son útiles en los diseños requeridos. Incluso esto puede mostrar que el geotextil no sirve para refuerzo. Esto no se investigo a fondo ya que nuestro principal objetivo es encontrar los valores de diseño. Para saber si el geotextil sirve o no en determinado diseño se deben estudiar más factores que no se estudiaron en esta investigación.



Figura 24: Pullout Grande. Alto de 24 in y de ancho de 90 in.



Figura 25 : Pullout Escala menor. Alto 1 in , Ancho 2.35 in

7. SIMULACION COMPUTACIONAL DE ESTRUCTURAS DE SUELO CON REFUERZO EN GEOTEXTIL.

Para analizar la influencia del geotextil, en estructuras de suelo reforzado se analizó en un talud, descrito a continuación. Este es solo un ejemplo de diseño para este tipo de estructuras con geotextil.

Se utilizó el procedimiento de diseño del catálogo de los productos Mirafi y el análisis por el programa FLAC/slope.

PASO 1: descripción del talud

H=5m

$\beta=45$

q=10 kpa

Requerimientos:

- a. Estabilidad externa $F_s=1.5$
- b. Estabilidad deslizamiento $F_s=1.3$
- c. Estabilidad interna $F_s=1.3$

PASO 2: propiedades de la fundación

- a. El suelo de la fundación se asumió una arcilla limosa de alta plasticidad.
Con arena y grava
- b. $\gamma_d= 19 \text{ kN/m}^3$, $UU=100 \text{ kPa}$, $\Phi=28$, $c=0$

STEP 3: Propiedades del refuerzo y del terraplén

- c. el suelo del terraplén es arena Ottawa.
- d. $\gamma_d = 18 \text{ kN/m}^3$, $\omega_{\text{opt}} = 15\%$, $\Phi = 33$, $c = 0$,

STEP 5: Estabilidad sin refuerzo, sin geotextil.

FLAC/slope FS= 0.68

Análisis con tablas de diseño para estructuras de refuerzo con productos Mirafi.

STEP 6: calculate Ts for the FS_R

a. $T_s = (1.3 - F_{su}) * M_D/R$

b. $\phi_f = \tan^{-1}\left(\frac{\tan \phi}{FS_R}\right)$

$$\phi_f = \tan^{-1}\left(\frac{\tan 33}{1.3}\right) = 26.5^\circ$$

From figure 8.5 a $K = 0.14$

$$H' = H + q/\gamma + 0.25$$

$$H' = 5 + 10/18 + 0.25 = 5.08 \text{ m}$$

$$T_R = 0.5 K \gamma_r H^2 = 0.5 * 0.14 * 18 * 5.08 = 32.51$$

- c. como $H < 6\text{m}$ el espaciamiento debería ser 200 mm
- d. para evitar envolverlo en la superficie use $S_v = 400 \text{ mm}$, $N = 5 \text{ m} / 0.4 \text{ m} = 12.5 \text{ capas} = 12$

e. $T_d = T_{max}/N = 32.51/12 = \mathbf{2.79 \text{ kN/m}}$

f. $\phi_f = \tan^{-1}\left(\frac{\tan 28}{1.5}\right) = 19.5^\circ$

$$L_B/H = 1.17$$

$$L_B = \mathbf{6.7 \text{ m}}$$

$$\phi_f = \tan^{-1}\left(\frac{\tan 33}{1.5}\right) = 23.4^\circ$$

$$L_T/H = 0.63$$

$$L_T = \mathbf{3.6 \text{ m}}$$

1. Factor de seguridad (FS) del talud sin refuerzo usando el programa FLAC/Slope

$$\mathbf{FS = 0.68}$$

Propiedades de la fundación:

- Dry Density = 1936.8 kg/m³
- Wet Unit Weigh = 2227.3 kg/m³
- Friction Angle, $\phi' = 28^\circ$
- OMC = 15%

Propiedades del terraplén:

- Dry Density = 1740.7 kg/m³
- Wet Unit Weight = 2140.8 kg/m³
- Friction Angle, $\phi' = 33^\circ$

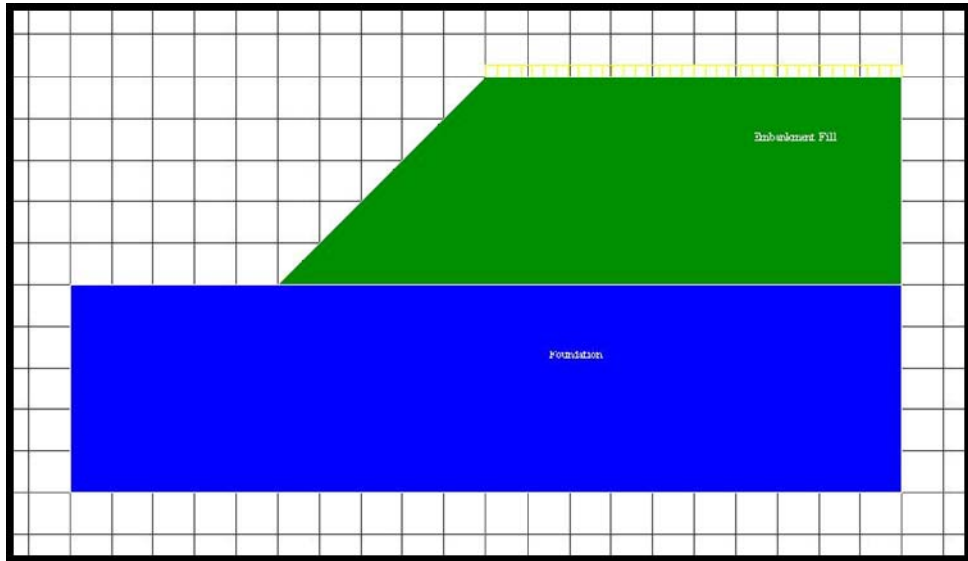


Figura 26: Modelo del talud sin refuerzo.

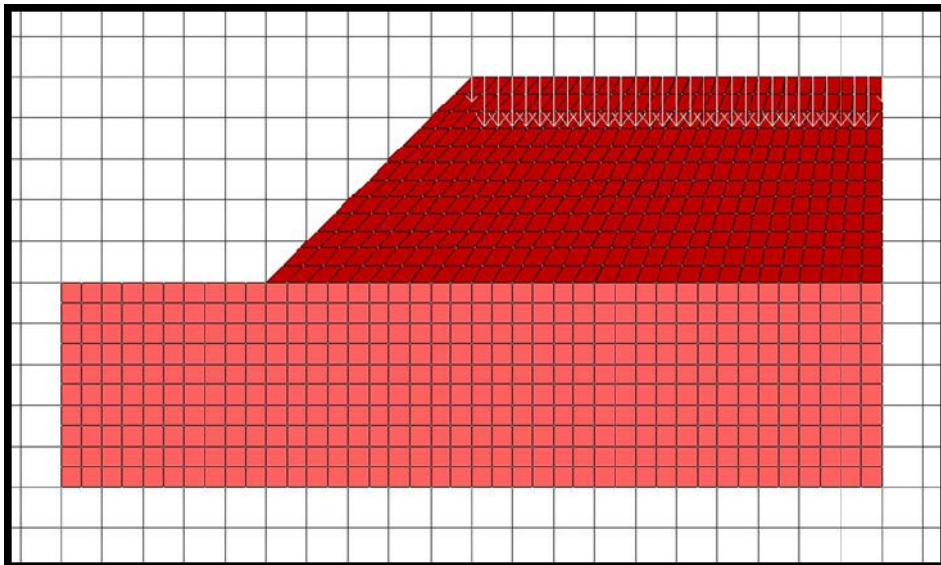


Figura 27: En mallado para el modelo en FLAC/slope, sin refuerzo.

2. Factor de seguridad (FS) con el talud reforzado con geotextil Mirafi HP370

FS = 1.27

- Maximum Tensile Strength = 32.51 kN/m

- Reinforcement Spacing, $S_v = 400 \text{ mm}$
- Length of bottom layer, $L = 6.4 \text{ m}$
- Length of top layer, $L = 3.8 \text{ m}$
- Number of Layers, $N = 5 \text{ m} / 0.4 \text{ m} = 12.5 = 12$
- Tensile Strength for each Layer, $T_d = T_{\text{max}} / N = 32.51 \text{ kN/m} / 12 = 2.7 \text{ kN/m}$
- Bond friction angle, $\delta = 28^\circ$.

Se observó un aumento significativo en el factor de seguridad (FS), para el talud con refuerzo de geotextil $FS=1.27$, comparado con el mismo talud pero sin geotextil $FS=0.68$, aproximadamente se aumento el 50% en la estabilidad del talud.

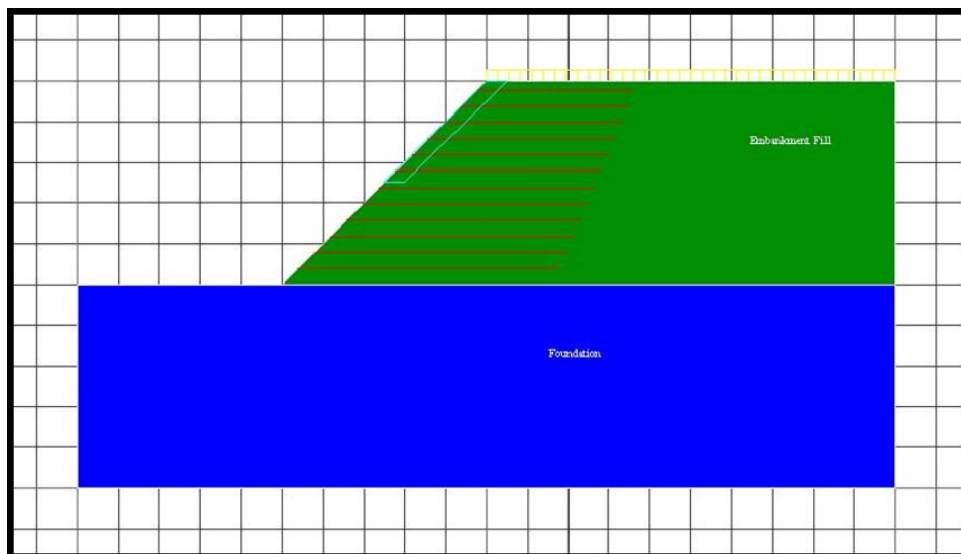


Figura 28: Modelo del talud con refuerzo. Mirafi HP370.

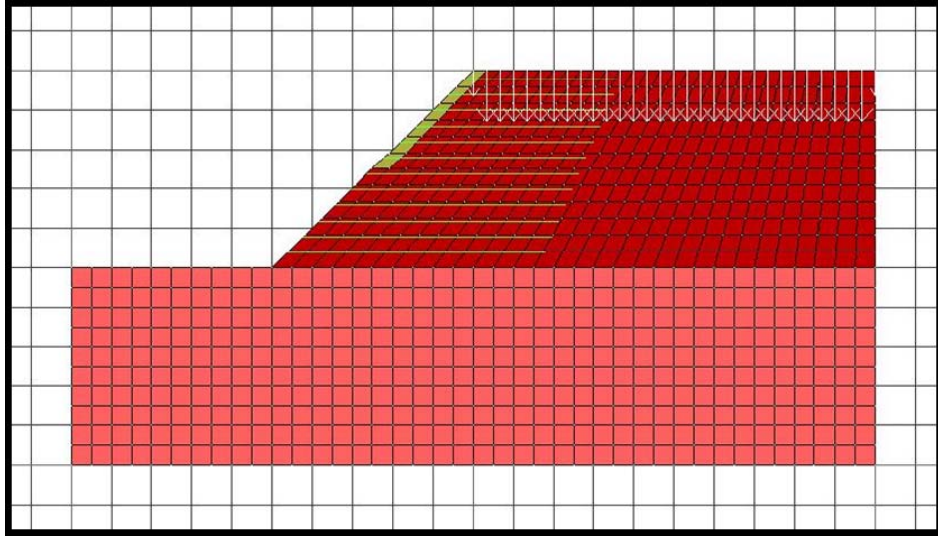


Figura 29: En mallado para el modelo en FLAC/slope, con refuerzo.

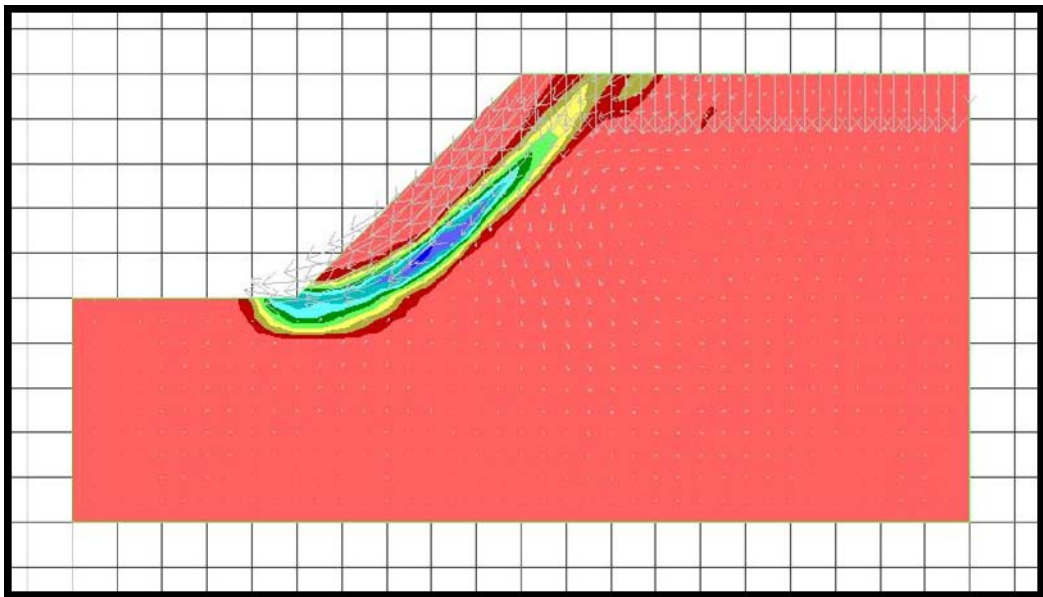


Figura 30: Superficie de falla. FLAC/Slope

La superficie de falla analizada en FLAC/Slope parece ser más cercana a la geometría real de un plano de falla para estas características del talud. Este programa puede analizar cualquier tipo de falla bajo consideración. No limitando el plano de falla a un plano circular, el cual puede que realmente no ocurra.

CONCLUSIONES

El modelo por Pullout muestra un comportamiento para geosintéticos de refuerzo, sometidos a cargas de tracción. El ensayo de corte directo modificado provee parámetros cuando el geotextil está sometido a cargas de corte, esto ocurre cuando el suelo se desliza por el geotextil en forma de bloque.

La tendencia de las curvas esfuerzo-deformación señalan que el suelo tiene mejor resistencia en el caso, de la muestra más compacta 88% para cualquier esfuerzo normal sin geotextil, esto demuestra que el suelo solo, tiene mejor fricción entre él mismo, que cuando se refuerza con geotextil, pero el suelo no resiste esfuerzos a tensión y puede colapsar por tensión. Cuando es el caso con Geotextil es mejor ubicarlo en forma que la fuerza a tracción el soporte las fibras más resistentes ya que este le da un mejor soporte a la estructura. Para este caso se demostró que MD es la orientación de las fibras más resistente y con mejor ángulo de interacción entre el suelo y el geotextil. Pero puede que ocurra deslizamiento del suelo como un bloque a través del geotextil.

Se observó que el coeficiente que se mide por ensayos de corte directo y Pullout son acorde a los ángulos de fricción entre el suelo y el geosintéticos, pero para ensayos Triaxial el ángulo de fricción que se mide no es el de interacción sino del conjunto o del sistema que compone los dos, por eso es el aumento del ángulo de fricción con más líneas de refuerzo, el sistema es más estable a compresión.

Las resistencias en el ensayo de Pullout son menores que la suma de las resistencias del ensayo de corte directo. Esto es debido a que el geotextil al encontrarse tensionado durante el ensayo presenta algunas deformaciones. Una de las causas es que las partículas de suelo se reorientan solas reduciendo los

esfuerzos de corte de la interface suelo – geotextil, resultando en bajas resistencias de Pullout.

Según los desplazamientos verticales se pudo concluir que para los ensayos de corte directo denso y para la orientación de las fibras del geotextil en MD, se obtuvieron mayores desplazamientos verticales con esfuerzos verticales mayores en este caso para esfuerzos verticales de 100 kPa. Esta son las combinaciones mejores de estructuras de refuerzo.

Contrario pasó para corte directo con arena suelta y corte directo modificado para XD, el mayor desplazamiento vertical ocurrió con el menor esfuerzo vertical de 25 kPa. El sentido de las fibras juega un papel importante incluso en el ángulo de interacción, sin tener en cuenta las fuerzas a tracción que el geotextil también sufre, pero que no pueden ser analizadas en estos tipos de ensayos.

En esta investigación se concluyó que el ensayo de Pullout puede exponer valores muy cercanos a los de corte directo modificado, pero se tiene que tener en cuenta la resistencia a tensión de las fibras del geotextil, ya que si se quiere modelar valores reales para el uso en el diseño de estructuras de suelo, se deben utilizar geotextiles que resistan lo suficiente para que el geotextil no falle a esfuerzos verticales y velocidades horizontales necesarias en el ensayo, porque al presentarse la falla del geotextil, los valores hallados no son útiles en los diseños requeridos. Incluso esto puede mostrar que el geotextil no sirve para refuerzo. Esto no se investigó a fondo ya que nuestro principal objetivo es encontrar los valores de diseño. Para saber si el geotextil sirve o no en determinado diseño se deben estudiar más factores que no se estudiaron en esta investigación.

BIBLIOGRAFIA

- **Robert M. Koerner.** 2005, Designing with Geosynthetics, - 5th edition. Pearson Education, Inc.
- **O'Rourke, T. D., Druschel, S. J., and Netravali, A. N.,** (1990), "shear strength characteristics of sand-Polymer interface", J. Geotech. Eng., 116(3),451-469
- **Lok-Man Chu and Jian-Hua Yin.** Comparison of interface shear Strength of soil nails measured by Both Direct shear Box Test and Pullout Tests. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, September 2005.
- **Zhenggui Wnag and Werner Richwien,** "A study of Soil-Reinforcement Iteration Friction", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, January 2002.
- **S.B. Mallick, . Zhai, S. Adanur, and D.J. Elton.** "Pullout and Direct shear Testing Geosynthetic Reinforcement: State of the Art Report. Transportation Research Record 1534.
- **K.Garbulewski,** "Direct Shear and pullout Frictional Resistance at the Geotextile-mud Interface". Department of Geotechnics, Warsaw Agricultural University, Poland 1990.
- **Venkatappa Rao and S. K. Pandey.** "Evaluation of Geotextile- Soil Friction". Indian Geotechnical Journal., 18 (1). 1988.

- *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soil under Consolidated Drained conditions.* AASHTO Designation: T 236-03. ASTM designation: D 3080-72. 1979.
- *Standard Test Method for measuring Geosynthetic Pullout Resistance in soil.* Draft No 5, ASTM Draft Designation D35.01.87.02. ASTM, Philadelphia, Pa, 1992.
- *Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method,* ASTM Designation: D 4595 – 05. September 2005.
- *Standard Test Method for consolidated Undrained Triaxial Compression Test,* ASTM Designation: D 4764 – 95. December 1995.
- *Standard Test Method for determining the coefficient of Soil and Geosynthetic or Geosynthetic and Geosynthetic Friction by Direct Shear method.* ASTM Designation: D 5321 – 02. February 2002.
- *GRI Test Method GT6 Standard test method for Geotextile Pullout.* Geosynthetic Research Institute, April 1992.