

ANÁLISIS Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON GEOTEXTILES TEJIDOS
PARA LA FINCA LOS CAUCHOS EN EL MUNICIPIO DE PIEDECUESTA,
SANTANDER

RUBÉN DARÍO DUARTE GUTIÉRREZ
DARÍO RICARDO PACHECO GUEVARA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2013

ANÁLISIS Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON GEOTEXTILES TEJIDOS
PARA LA FINCA LOS CAUCHOS EN EL MUNICIPIO DE PIEDECUESTA,
SANTANDER

RUBÉN DARÍO DUARTE GUTIÉRREZ
DARÍO RICARDO PACHECO GUEVARA

Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Civil

Director
WILFREDO DEL TORO
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2013

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios, a nuestro director de proyecto, el Ing. MCs. Wilfredo del Toro, por su paciencia y dedicación durante el desarrollo de este proyecto, a nuestro codirector, el Ing. MCs. Mario Ramírez por compartir sus experiencias, a nuestros padres, por brindarnos su apoyo y en general a todas las personas que de alguna manera aportaron para que este proyecto concluyera con éxito.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO	16
1.1 LOCALIZACIÓN, SONDEOS E INFORMACIÓN GENERAL	16
1.1.1 Localización del proyecto	16
1.1.2 Información del predio	16
1.1.3 Perfil topográfico	17
1.1.4 Sondeos	17
1.2 GEOLOGÍA	18
1.2.1 Geología local	18
1.2.2 Geología estructural	19
1.3 CLIMATOLOGÍA	19
1.4 HIDROLOGÍA	20
1.5 SISMICIDAD	22
2. METODOLOGÍA	24
2.1 MATERIAL DE NIVELACIÓN Y ENSAYOS DE LABORATORIO	24
2.1.1 Ensayo de granulometría	24
2.1.2 Ensayo de límites de Atterberg	25
2.1.3 Ensayo de compactación	26
2.1.4 Ensayo de corte directo	26
2.2 RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TALUDES EN SUELO REFORZADO	27
3. MODELOS DE SIMULACION PARA LA ESTABILIDAD INTERNA DEL TALUD	34
4. TABLA DE RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES	38
5. DISPOSICIÓN DEL AREA DE URBANIZACIÓN	41
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFIA	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fotografía aérea del predio.....	16
Figura 2. Topografía de la finca Los Cauchos.	17
Figura 3. Falla Bucaramanga –Santa Marta.	19
Figura 4. Curvas IDF, Estación La Granja.	21
Figura 5. Mapa Zonificación sísmica del Departamento de Santander.....	23
Figura 6. Curvas granulométricas.	24
Figura 7. Curvas de compactación Proctor modificado.....	26
Figura 8. Envolvente de falla ensayo de corte directo.	27
Figura 9. Modelo en Slide 5.0 de simulación Talud altura 10 m.....	35
Figura 10. Representación del tipo de falla y especificaciones del refuerzo.....	36
Figura 11. Simulación en Slide 5.0 del tipo de falla y factor de seguridad.	37
Figura 12. Distancia x con respecto al talud en reposo (β).....	41
Figura 13. Simulación Slide 5.0 para talud en reposo con 20m de altura	42
Figura 14. Simulación Slide 5.0 para talud 20m reforzado con 5H:5V.....	42
Figura 15. Simulación Slide 5.0 para talud 20m reforzado con 2H:5V.....	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de los sondeos.	18
Tabla 2. Clasificación del suelo de compactación.....	25
Tabla 3. Resultados ensayos de compactación.....	26
Tabla 4. Resultados ensayos de corte directo.	27
Tabla 5. Valores de δ para distintos tipos de arenas.	30
Tabla 6. Resultados de la resistencia a la tracción de los geotextiles tejidos.	32
Tabla 7. Resultados del F.S talud altura 5m.	38
Tabla 8. Resultados del F.S talud altura 10m.	38
Tabla 9. Resultados del F.S talud altura 15m.	39
Tabla 10. Resultados del F.S talud altura 20m.	39
Tabla 11. Resultados del F.S talud altura 25m.	39
Tabla 12. Resultados del F.S talud altura 30m.	40
Tabla 13. Resultados del F.S talud altura 35m.	40
Tabla 14. Cantidad de geotextiles para un talud de 20m con bermas para relaciones 5H: 5V.....	43
Tabla 15. Cantidad de geotextiles para un talud de 20m con bermas para relaciones 2H: 5V.....	44
Tabla 16. Valores de β y X para diferentes elevaciones.	44
Tabla 17. Cantidad de metros lineales de geotextil para diferentes elevaciones con pendiente 5H: 5V	45
Tabla 18. Cantidad de metros lineales de geotextil para diferentes elevaciones con pendiente 4H: 5V	46
Tabla 19. Cantidad de metros lineales de geotextil para diferentes elevaciones con pendiente 3H: 5V	47
Tabla 20. Cantidad de metros lineales de geotextil para diferentes elevaciones con pendiente 2H: 5V	48

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Cantidad de metros lineales de geotextil para diferentes elevaciones con pendiente 5H: 5V	45
Gráfica 2. Cantidad de metros lineales de geotextil para diferentes elevaciones con pendiente 4H: 5V	46
Gráfica 3. Cantidad de metros lineales de geotextil para diferentes elevaciones con pendiente 3H: 5V	47
Gráfica 4. Cantidad de metros lineales de geotextil para diferentes elevaciones con pendiente 2H: 5V	48

RESUMEN

TÍTULO:

ANÁLISIS Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON GEOTEXILES TEJIDOS PARA LA FINCA LOS CAUCHOS EN EL MUNICIPIO DE PIEDECUESTA, SANTANDER*

AUTORES:

DUARTE Gutiérrez Rubén Darío
PACHECO Guevara Darío Ricardo **

PALABRAS CLAVES:

Estabilización, talud, Geotextil tejido, factor de seguridad, ensayos de laboratorio, zona de falla.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este trabajo es brindar información acerca de cómo estabilizar taludes con geotextiles tejidos, así como evaluar la seguridad de cada estructura de acuerdo a los métodos conocidos en la ingeniería de suelos ; tomando como referencia una obra real ejecutada en la finca los cauchos del municipio de Piedecuesta en Santander Colombia; también explicar los diversos factores geológicos, geotécnicos y ambientales presentes en el proyecto los cuales tienen un impacto directo en el análisis y diseños de las obras, se buscó información en la literatura y en diversas normas regionales, nacionales e internacionales vigentes acerca de los requerimientos mínimos de conformación de taludes en suelo reforzado con geotextiles tejidos.

Se realizaron ensayos de laboratorio al suelo empleado como material de nivelación, de este modo se determinó las propiedades geotécnicas de resistencia del material, a partir de esta información se hizo una evaluación del comportamiento de la interacción del suelo con el material sintético de fuerza. Además contiene varias representaciones de taludes simulados con Slide 5.0 en donde se variaron, las alturas, inclinaciones, entre otras características geométricas con el propósito de evaluar los factores de seguridad y el consumo de geotextiles tejidos en cada modelo.

Finalmente se exponen varias recomendaciones y conclusiones acerca de aquella opción que represente el mayor área de nivelación, recurriendo al menor gasto posible de geotextiles, de acuerdo a las especificaciones del propietario y según lo permiten las características geotécnicas y topográficas del predio.

*Proyecto de grado.

**Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director Wilfredo del Toro.

ABSTRACT

TITTLE:

ANALYSIS AND SLOPES STABILIZATION WITH GEOTEXTILES FABRIC TO FARM LOS CAUCHOS, IN THE MUNICIPALITY OF PIEDECUESTA, SANTANDER*

AUTHORS:

DUARTE Gutiérrez Rubén Darío
PACHECO Guevara Darío Ricardo **

KEYWORDS:

Stabilization, Slope, Geotextiles fabric, Safety factor, Laboratory test, Fault zone.

DESCRIPTION:

The aim of this paper is to provide information about how to stabilize slopes with geotextile fabric , and evaluate the safety of each structure according to methods known in the soil engineering , with reference to real work executed in the farm "Los Cauchos", in the municipality of Piedecuesta, Santander; also explain the various geological, geotechnical and environmental present in the project which have a direct impact on the analysis and design of works, search for information in the literature and in various regional , national and international laws about the minimum requirements for forming reinforced soil slopes with geotextile fabric .

Laboratory tests were conducted to the floor leveling material employed thus determined resistance of geotechnical properties of the material, from this information, an evaluation of the interaction behavior of the soil with synthetic material reinforcement. It also contains various representations of simulated slopes where 5.0 Slide varied, heights, slopes, and other geometric characteristics in order to evaluate the safety factors and the use of geotextiles fabric in each model.

Finally it puts forward recommendations and conclusions about the option that represents the largest area of leveling, using the least possible expenditure of geotextiles, according to the owner's specifications and as permitted by geotechnical and topographical characteristics of the site

*Proyecto de grado.

**Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director Wilfredo del Toro

INTRODUCCIÓN

En la Construcción de las diferentes obras civiles se hacen necesarios grandes movimientos de tierra para la adecuación de terrenos, esto genera la necesidad de construir terraplenes; los cuales se conocen con el nombre de taludes. La utilización de geotextiles tejidos de refuerzo en la construcción de terraplenes ofrece ventajas técnicas y económicas, como son la construcción de taludes artificiales con inclinaciones mayores a la del ángulo de reposo, permitiendo así considerables ahorros en volumen de material y menor área para la construcción; también la utilización de geotextiles en terraplenes ofrece la posibilidad de construcción de estos sobre suelos de baja capacidad portante. [1]

Los taludes presentan dos importantes diferencias con respecto a los muros: la primera de ellas es la inclinación del relleno con respecto a la horizontal la cual es inferior a los 70° y la segunda diferencia es el modelo de superficie de falla que se asume para efectos de diseño del refuerzo, la cual es de geometría circular según los modelos de falla de Coulomb, Bishop Circular, Jambu Circular, etc., mientras que el modelo de superficie de falla que se asume cuando se diseñan muros en suelo reforzado es el modelo de cuña de falla Rankine ($45^\circ + \phi/2$). [1][5][6] [7]

Los Geotextiles son, como su nombre lo indica, textiles permeables sintéticos, en su gran mayoría resistentes a la tensión, al punzonamiento y con excelentes propiedades hidráulicas.

Los principales usos de los geotextiles tejidos son: la conformación de estructuras de suelo reforzado y en la separación o estabilización de subrasantes de vías y cimentaciones.

Los geotextiles tejidos al tener la capacidad de asumir esfuerzos de tracción, desarrollan fuerzas resistentes por detrás de la superficie de falla, gracias al esfuerzo de corte que se genera entre el geotextil y el suelo, tal efecto hace que se desarrolle una fuerza estabilizadora adicional a las determinadas normalmente y como resultado final el factor de seguridad ante la falla aumenta.[1] [7]

En la finca Los Cauchos ubicada en el municipio de Piedecuesta, Santander, se requiere estabilizar un relleno de tierra estimada en $1'500.000 m^3$.

Para ello la empresa RAMIREZ ARENAS & CIA LTDA, encargada de los diseños ha decidido utilizar el método de estabilización de taludes con geotextiles tejidos como método de solución.

En este trabajo de investigación se plantearán alternativas de solución y se elaborarán los respectivos modelos de simulación de los cuales se obtendrán los indicadores de factor de seguridad; haciendo uso de las tecnologías de investigación computacional disponibles en geotecnia, en este caso Slide 5.0, usado para el diseño de la estructura y el análisis de estabilidad interna del talud.

1. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO

1.1 LOCALIZACIÓN, SONDEOS E INFORMACIÓN GENERAL

1.1.1 Localización del proyecto El proyecto de nivelación está localizado sobre la margen derecha de la vía Piedecuesta- Bogotá, aproximadamente 500 metros adelante del antiguo reten Intra, en la finca Los Cauchos del municipio de Piedecuesta, Santander.

Figura 1.Fotografía aérea del predio.



Fuente. Google Earth.

1.1.2 Información del predio

- Código catastral ANT:01-0-014-037.
- Matrícula Inmobiliaria: 3144972.
- Dirección: finca los caucho, Piedecuesta..
- Propietario: SOCIEDAD ORDOÑEZ Y GAVAZA S. EN C.
- Representante legal – ALVARO ROBERTO ORDOÑEZ CARDOSO.
- Código catastral: 00-0-014-053.

1.1.3 Perfil topográfico

El predio posee un área de $90.182 m^2$, la cual se proyecta rellenar con un volumen de tierra aproximado de $1'500.000 m^3$, que serán compactados; el área a intervenir corresponde a $82.000 m^2$.

La topografía del predio presenta un relieve irregular con una altura máxima de 1.055msnm y diferencia de nivel de hasta 40m; a sus alrededores se observan construcciones de tipo rural de baja altura (casas de 1 y 2 pisos). Al norte se encuentra el caño los cauchos y al sureste la quebrada grande.

Figura 2. Topografía de la finca Los Cauchos.



Fuente. RAMIREZ ARENAS & CIA LTDA

1.1.4 Sondeos

De acuerdo a los estudios originales suministrados por la empresa RAMIREZ ARENAS & CIA LTDA; se realizaron exploraciones geotécnicas con ensayos geoeléctricos.

A continuación, con base en los valores obtenidos por el número de penetración estándar del ensayo SPT, se establecieron parámetros de resistencia del material representadas en la tabla 1.

El terreno a intervenir presenta valores de presiones admisibles de 31 Ton/m², a partir de este valor y empleando módulo de reacción o coeficiente de Balasto se determinó un asentamiento de 0,63m.

Todos los dos sondeos fueron realizados a una profundidad de 3,0m con una separación de cien metros (100m) y se detectó un nivel freático a una profundidad de 2,8m. La caracterización describe los suelos encontrados como arcilla magra arenosa de color café, revuelta con una capa de material vegetal orgánico superficial (entre 0,2m y 0,5m).

Tabla 1. Resultados de los sondeos.

Material	Peso unitario (KN/m ³)	Cohesión (KPa)	Ángulo de fricción.
Limo arcilloso	18	17	20
Arcilla limosa	20	20	28
Aluvial	20	25	32

Fuente: RAMIREZ ARENAS & CIA LTDA.

1.2 GEOLOGÍA

1.2.1 Geología local

La geología de la zona está representada por suelos transportados de origen cuaternario, de color amarillo a marrón claro con presencia de rocas sedimentarias no consolidadas de temprana edad, junto con otros depósitos fluviales

También en sus cercanías se puede encontrar suelos de grano fino a medio con intercalaciones de limolitas y lodolitas pertenecientes a la formación Jordán.

1.2.2 Geología estructural

La zona de estudio a nivel regional se encuentra afectada por la falla Bucaramanga-Santa Marta y asociadas a estas se presentan otras fallas consideradas como satélites.

Figura 3. Falla Bucaramanga –Santa Marta.



Fuente. Ingeominas.

1.3 CLIMATOLOGÍA

La temperatura del Municipio de Piedecuesta es característica de clima tropical, varía de ardiente a cálida, o fría dependiendo de la altitud. El movimiento circulatorio ascendente del aire cálido y descendente del aire frío, depende a diario de cómo se rompa el equilibrio térmico. Sin embargo teniendo en cuenta el

largo recorrido que hacen los vientos provenientes del Valle del Magdalena, no son muy frecuentes las variaciones marcadas de temperatura en la mañana, al medio día y en la noche.

Según el IDEAM La temperatura mínima promedio determinada se obtuvo en la zona de Páramo estación CO el Rasgón con 8,3 °C, con temperatura media promedio de 16,8°C y la máxima promedio en la estación CO Llanogrande con 27,3°C con temperatura media promedio de 24,9°C.

1.4 HIDROLOGÍA

El estudio se realizó por series de información hidrológica de caudales y precipitaciones obtenidas en las estaciones más cercanas al proyecto; en este estudio se tomó la información de máximos en 24 horas suministrada por la estación La Granja operada por el IDEAM.

- Estación pluviográfica.
- Nombre: Piedecuesta, La Granja 2319070
- Latitud: 07 00 N
- Longitud: 75 05 W
- Elevación: 1.000msnm
- Fecha de instalación: 1.970.

Para la estimación de los caudales se utilizó la fórmula del método racional.

$$Q = C \times I \times A \quad [1]$$

Donde:

Q: Descarga estimada en un sitio determinado en litros por segundo (L/s).

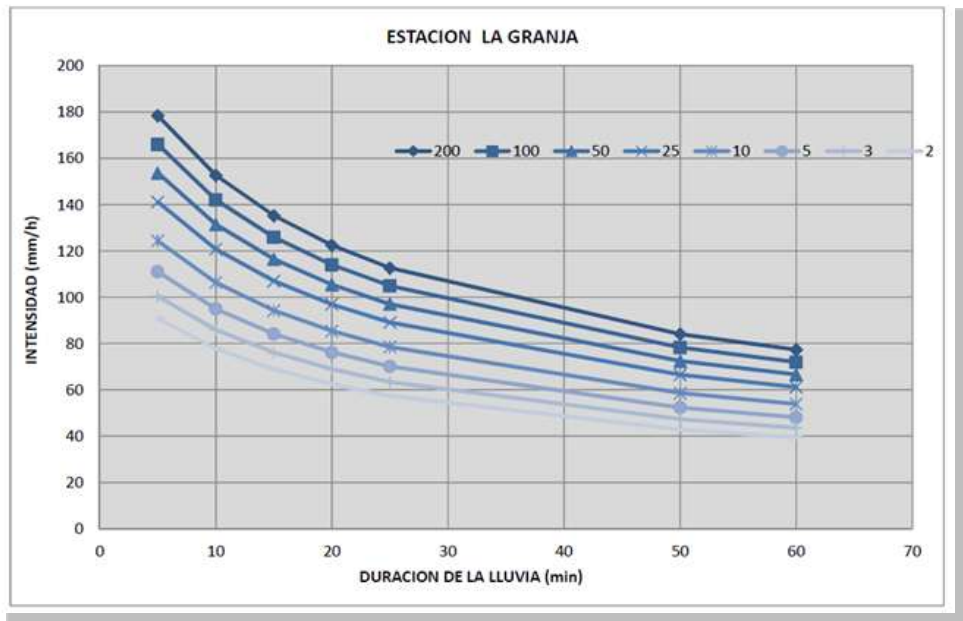
C: Coeficiente de escorrentía.

I: Intensidad de la lluvia en litros por segundo por hectárea (L/s/ha) ó (mm/Hora), para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca (Tc), y para una frecuencia o periodo de retorno determinado (F).

A: Área de influencia (m^2) ó (ha) [6]

El caudal que solo tiene 1% de posibilidad de ocurrencia en un año, equivale a una creciente con período de retorno de 100 años , así que se analizó este período de retorno como el de la creciente básica. Esta creciente básica puede utilizarse como criterio cuando no exista riesgo de pérdidas humanas por la amenaza de la creciente. [2]

Figura 4. Curvas IDF, Estación La Granja.



Fuente. IDEAM

La intensidad de la lluvia se determinó con las curvas de intensidad - duración - frecuencia, o de aguaceros equivalentes en función del período de retorno. Estas curvas se presentan en la figura 4, en donde se expresa la intensidad en mm/h la duración en minutos. [1][5][6]

El coeficiente de escorrentía está definido en función al uso del área de nivelación y de la impermeabilización de las caras de los terraplenes considerando la presencia de zonas duras como también presencia de suelo desnudo. [5][6]

Teniendo una intensidad máxima esperada de 170 mm/h, tomando un área de influencia de aproximadamente $82.000 m^2$ y un coeficiente de escorrentía de 0,6; el caudal máximo esperado sobre la zona de influencia es $2,32 m^3/s$ para un período de retorno de 100 años.

1.5 SISMICIDAD

El predio está localizado a pocos kilómetros del casco urbano del municipio de Piedecuesta en dirección a La Mesa de los Santos, lugar que alberga uno de los enjambres sísmicos más activos del planeta, justo sobre la cordillera oriental de Los Andes.

Según estudios de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica a Piedecuesta le corresponde un coeficiente de aceleración horizontal A_a igual a 0,25 ó 200 PGA en unidades de cm/s^2 , referente a una zona de amenaza sísmica alta. [2][3]

Figura 5. Mapa Zonificación sísmica del Departamento de Santander.



Fuente. Ingeominas.

2. METODOLOGÍA

2.1 MATERIAL DE NIVELACIÓN Y ENSAYOS DE LABORATORIO

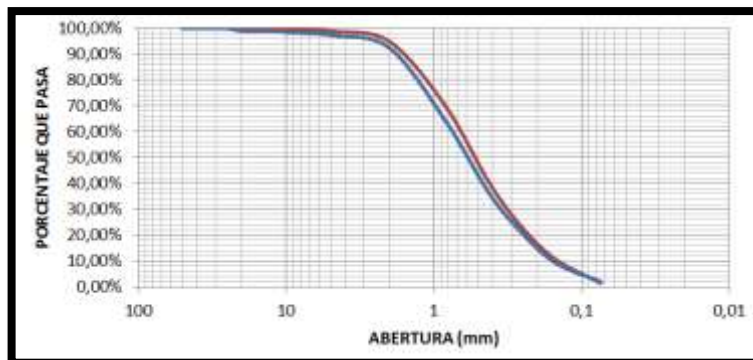
El material empleado en el proyecto de nivelación corresponde al suelo extraído de las obras de cimentación del complejo hospitalario internacional de Colombia, proyecto ejecutado en Piedecuesta Santander , se tomaron 3 muestras alteradas para ser ensayadas en el laboratorio: caracterización, compactación y corte directo, de los cuales se obtuvo su gradación, densidad, cohesión y ángulo de fricción desarrollados en el Centro de Caracterización de Materiales de Construcción de la Universidad Industrial de Santander.

2.1.1 Ensayo de granulometría

En construcción, se recomienda que el material de conformación del talud se emplee un material que conserve un índice de plasticidad inferior de 20 y un contenido de finos no superior al 50% [1]

Se llevó a cabo la medición y graduación de cada una de las tres muestras obteniendo los siguientes resultados:

Figura 6. Curvas granulométricas.



Fuente. Autores.

Del ensayo de granulometría se obtuvo:

Gravas: 1,16% - 2,75%
Arena: 95,24% - 97,35%
Finos: 0,97% - 2,01%

2.1.2 Ensayo de límites de Atterberg

Se llevó a cabo el ensayo de límites a cada una de las tres muestras obteniendo los siguientes resultados:

Límite líquido (LL): 30,86% - 34,58%
Límite plástico (LP): 19,19% - 20,56%
Índice de plasticidad (IP): 11,67% - 14,11%

Como se puede observar, el índice de plasticidad es inferior a 20, lo que indica que la integridad de la estructura no se verá afectada por la expansión del material ante la presencia de filtraciones de agua. [1]

De acuerdo a los ensayos de granulometría y límites, se clasificó el suelo como una arena pobremente gradada.

La construcción de taludes en suelo reforzado no requiere que el material sea estrictamente granular como sí lo requieren los muros en tierra armada, en este sentido los taludes son más permisibles ante la selección de materiales con buen porcentaje de finos. [5] [6]

Tabla 2. Clasificación del suelo de compactación.

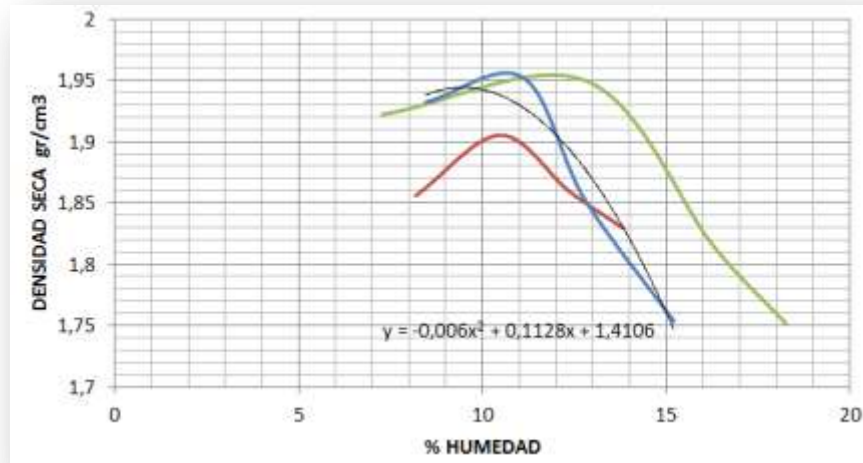
GRUPO SUCS	SP
USO PARA TERRAPLENES	Se recomienda terraplenes con poca inclinación.
CAPACIDAD PORTANTE	Regularmente buena.
FUNDACION EN VIAS	Aceptable a bueno.

Fuente. Braja M. Das.

2.1.3 Ensayo de compactación

Del ensayo de compactación se obtuvo los siguientes resultados:

Figura 7. Curvas de compactación Proctor modificado.



Fuente. Autores.

Tabla 3. Resultados ensayos de compactación.

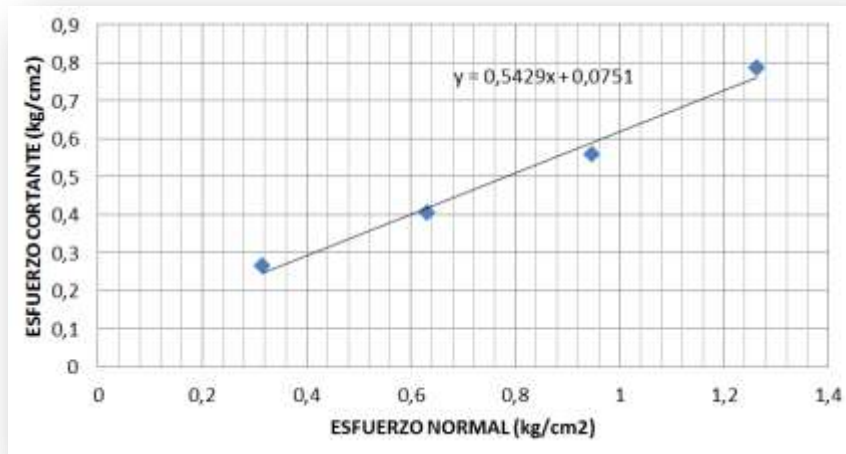
Humedad optima, W (%)	Densidad seca, ρ_d (gr/cm ³)	95% Proctor Modificado (gr/cm ³)
9,4	1,94	1,84

Fuente. Autores.

2.1.4 Ensayo de corte directo

El material granular debe contener ángulos de fricción que oscilen entre 25° y 36° puesto que esta magnitud deberá ser reducida, es decir, la resistencia de la interface suelo-refuerzo se estima como un porcentaje no inferior al 65% del ángulo de rozamiento determinado en laboratorio.[1]

Figura 8. Envolvente de falla ensayo de corte directo.



Fuente. Autores.

Tabla 4. Resultados ensayos de corte directo.

Angulo de fricción	Cohesión (Kg/cm ²)
31,1 °	0,0751

Fuente. Autores.

2.2 RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TALUDES EN SUELO REFORZADO

Los taludes en suelo reforzado son obras que emplean suelos granulares como el principal material estructural, sin embargo este material es susceptible a fallar ante la presencia de esfuerzos de tracción. Para ello, los geotextiles tejidos tienen la capacidad de soportar esfuerzos de tensión por detrás de la línea de falla, debido a la fricción generada entre el material sintético y el suelo aportando estabilidad a la estructura. [1] [6]

Se hace necesario definir parámetros geométricos y geotécnicos en los taludes sugeridos por los propios fabricantes de los geosintéticos y las diferentes normas.

En el caso de la finca Los Cauchos, el estudio se rige por los parámetros mencionados por la CDMB, NSR-10, Manual de Diseño con Geosintéticos de PAVCO y AASHTO.

A continuación se mencionan algunas consideraciones para el diseño adecuado de un talud en tierra armada.

Aunque teóricamente no existen limitaciones para la altura de taludes, se recomienda emplear una altura máxima de 40m [1] [9]; tal dimensión solo se logra siempre y cuando la base de la estructura posea extensiones de áreas considerables; en el caso del proyecto de nivelación, el área estuvo limitada por un perímetro extendido a partir de la cota de inundación de la quebrada Los Cauchos, es decir aproximadamente 15m a partir de ellas.

Las dimensiones de la base del talud deben poseer una longitud mínima tal que, represente un 70% de la altura del mismo. [6]

El estudio de la estabilidad consiste en el cálculo de los factores de seguridad de los taludes utilizando sistemas de análisis aceptados internacionalmente, mediante el empleo de un programa de computación. [1] [2] [5] [6]

Aunque en la literatura se pueden encontrar diversos métodos de análisis para el cálculo de factores seguridad, en Slide 5,0 la variedad de métodos de estabilidad se ve restringido al de Bishop simplificado y Janbú simplificado. Mientras que Bishop asume una falla de tipo circular, y las fuerzas de cortante son cero entre cada dovela, para Janbú el método se ajusta a cualquier forma de falla, así mismo también desconoce la existencia de cortante pero no cumple a cabalidad la condición de equilibrio de momentos, asignando valores bajos a los factores de seguridad comparados con los determinados con Bishop. [6]. En conclusión, Bishop Simplificado es más preciso para estimar el factor de seguridad.

Por otro lado, se deben tener en cuenta distancias de aislamiento al pie como también en la corona del talud, es de suma importancia que no se realicen construcciones tan cerca del borde superior de la estructura que representen valores elevados de sobrecarga, esta condición es regulada por las normas locales en donde se han ejecutado los proyectos; por este motivo se estimó una distancia prudencial de 3m entre la sobrecarga y la corona del talud en cada una de las simulaciones. [2]

Al presentar estructuras de gran altura se debe considerar la implementación de bermas, la norma de la CDMB sugiere que para taludes mayores a 8,0m se empleen bermas de un ancho mínimo de 2,0m, lo que conlleva a varias ventajas tales como el buen comportamiento de la estructura en la modelación, la prevención de caídas de elementos estructurales y no estructurales, en las inmediaciones de la base del relleno y en el manejo controlado de los volúmenes de agua de escorrentía a través de canaletas abiertas.

Al emplear en ancho mínimo sugerido por la CDMB se dio vía libre al espaciamiento horizontal óptimo entre la corona y el pie del talud.

Las bermas se deben diseñar con pendiente hacia el interior del talud (mayor de 5%), en donde se proyecta una cuneta interceptora para facilitar el drenaje y evitar el desborde de la escorrentía, según [2].

En la mayoría de los casos la separación de capas (S_v) es de 30cm a 40cm, es lo más sencillo para un efectivo relleno de compactación para suelo granular de relleno, como lo sugiere [10]; en cambio, para suelos cohesivos de poca capacidad de drenaje se recomienda entre 20cm y 30cm, según [1], la norma internacional AASHTO es más flexible al sugerir separaciones de 80cm [5], sin embargo es importante consultar los manuales de diseño del fabricante de los geotextiles quienes en últimas garantizarán la integridad de la estructura reforzada pero por razones constructivas y para evitar el embobamiento en la cara externa;

para cada una de las capas se recomienda que la altura de las mismas no exceda los 50cm. [5]; por esto, se determinó la separación de capas Sv: 0,5m.

Como en toda obra de suelo reforzados con geosintéticos, es necesario el doblez de una porción del refuerzo en la cara exterior del talud con el fin de confinar el material, luego dicho doblez debe terminar en una longitud de traslapo L_0 no menor de 1,0m [1] [5] [6] [7] [9].

Cabe resaltar que en las terminaciones superiores de los taludes la última capa de suelo es mayor que las inferiores, esto se debe a que el último refuerzo posee muy poca sobrecarga y es vulnerable a que se desprenda por la falta de fricción, la magnitud de la Longitud (L) de anclaje del Geotextil debe representar un 80% y 100% de la altura. [1]

Para efectos de ingreso de datos en software, Slide 5.0 requiere un valor de la interacción del suelo –refuerzo en términos de un nuevo ángulo de fricción (δ) y una nueva adherencia (C_a) entre el suelo y el geotextil.

Los valores de δ y C_a empleados en las simulaciones son proporcionados por el fabricante de acuerdo a la gradación del material y el ángulo de fricción determinados en los ensayos de laboratorio. Se recomienda valores de δ entre 15 Ton/m² y 18 Ton/m² para suelos arenosos [1]; sin embargo Slide 5.0 sugieren cifras cercanas a 5kN/m² por defecto.

Tabla 5. Valores de δ para distintos tipos de arenas.

TIPO DE GEOTEXTIL	TIPO DE ARENA		
	Arena de grano medio a grueso	Arena redondeada	Arena limosa
	$\varphi=30^\circ$	$\varphi=28^\circ$	$\varphi=26^\circ$
Geotextil Tejido de cinta plana	24° (77%)	24° (84%)	23° (87%)

Fuente: Manual de diseño con Geosintéticos PAVCO.

Teniendo en cuenta la tabla 5, se asumen estos valores:

- Angulo de fricción suelo – refuerzo (δ): 24°
- Adherencia entre el suelo y el geotextil (C_a): 5kN/m²

Aunque cada fabricante de geosintéticos proporciona información de las propiedades físicas e hidráulicas, los valores de resistencias ofrecidas no deben ser considerados como valores exactos de diseño, es decir, que cada valor de tensión última debe ser reducido a un valor admisible que depende de un factor de seguridad.

Para obtener la resistencia a la tracción disponible del geotextil o tensión admisible (T_{adm}):

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS} \quad [1]$$

$$FS = FR_{ID} \times FR_{FL} \times FR_{DQB} \quad [1]$$

Dónde:

- T_{ult} = Resistencia última del geotextil por el método de la tira ancha. (ASTM D 4595).
- T_{adm} = Resistencia a la tracción disponible del geotextil.
- FR_{ID} = Factor de reducción por daños de instalación.
- FR_{FL} = Factor de reducción por fluencia o creep.
- FR_{DQB} = Factor de reducción por degradación química y biológica.

Para cada uno de los factores se asignó un valor, según los métodos constructivos en obra, así como la influencia del medio ambiente local que afectan el material a medida que transcurre el tiempo.

Al ser una obra de gran dimensión, está susceptible a que la construcción no se ejecute de manera correcta, desgastando el refuerzo antes de tiempo, igualmente está localizada sobre una zona con alta presencia de biodiversidad y humedad, componentes importantes que se tuvieron en cuenta al momento de escoger cada factor de reducción.

Tabla 6. Resultados de la resistencia a la tracción de los geotextiles tejidos.

Geotextil Tejido	FS	T _{ult} (kN/m)	T _{adm} (kN/m)
T1700	2,75	22	8
T2100	2,2	33	15
T2400	2,2	41	18
TR3000	2,2	58	26
TR4000	2,2	66	30
TR6000	2,2	112	51

Fuente. Autores.

En la tabla anterior se muestran los resultados de T_{adm}, obtenido de la disminución de T_{ult} por los factores de reducción.

En relación al cargas sísmicas, tanto la norma AASHTO como el Reglamento Colombiano de Sismo Resistencia NSR-10, sugiere utilizar un coeficiente de reducción para la aceleración sísmica en el diseño de taludes de 0,5, es decir, la aceleración horizontal pico efectiva para diseño es $0,5 \cdot 0,25 = 0,125$; en cuanto a la aceleración vertical pico efectiva para diseño es un 10% de la aceleración horizontal, es decir: $0,5 \cdot 0,25 \cdot 0,1 = 0,0125$.

La ubicación de la obra juega un papel crucial al momento de definir los factores de seguridad tanto estático como pseudoestático. De acuerdo a la tabla H.2.4-1 del reglamento colombiano de sismoresistencia NSR-10, asigna un factor de seguridad básico mínimo de 1,05 para taludes en condición pseudoestática y 1,5 para condición estática, ambas con agua subterránea normal y coeficiente sísmico

de diseño; sin embargo AASHTO propone emplear factores de seguridad para las mismas situaciones de 1,1 y 1,3 respectivamente.

De este modo se empleó factores no inferiores a 1,05 en condiciones sísmicas y 1,3 para aquellas regidas por un análisis estático.

3. MODELOS DE SIMULACION PARA LA ESTABILIDAD INTERNA DEL TALUD

Las alturas estimadas sobrepasan plenamente en muchas estructuras de taludes en suelos reforzados; al representar una topografía totalmente irregular se evalúa la posibilidad de intervenir en taludes de hasta 35m en el sector de mayor depresión, y otras alturas de menor y mediana altitud localizadas a todo lo largo del perímetro de la cota de inundación.

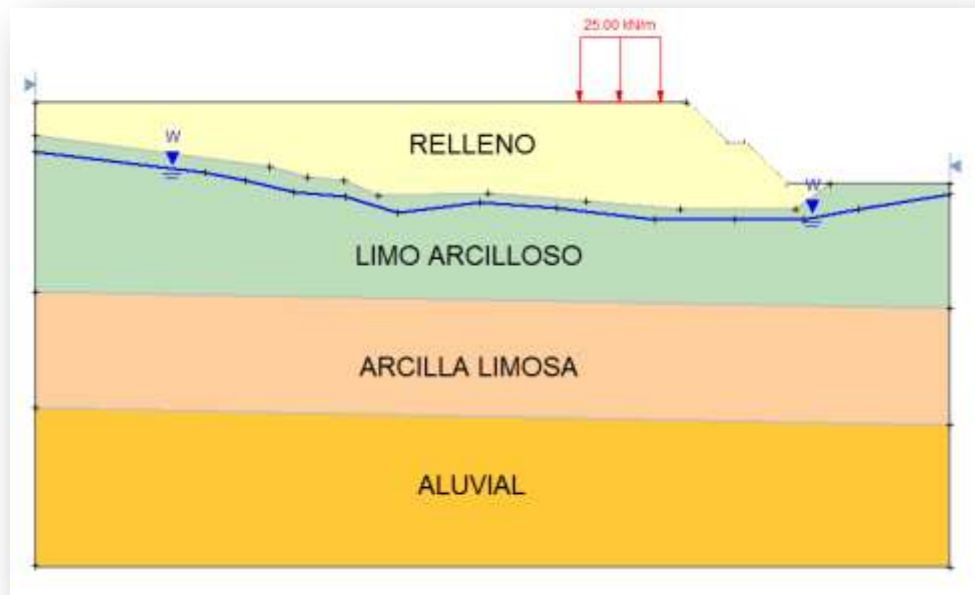
A partir de esta información, se procedió a determinar un área de urbanización según lo permitan las propiedades del suelo de compactación sin reforzar con los geotextiles tejidos, esta área está restringida a la estabilidad en reposo de cada terraplén.

El área neta para la superficie de nivelación con taludes en esta condición se estimó en $46.000m^2$ que corresponde a un 56,09% del área de intervención.

La posibilidad de aumentar el área para el uso del suelo nivelado solo está garantizada con la utilización del material de refuerzo y con el buen diseño de estructuras de evacuación de aguas lluvias.

Toda desnivelación entre el suelo original y la cota de nivelación es analizada con una nueva estructura ligada a los lineamientos de diseño antes mencionados, incluyendo las propiedades del suelo de fundación y la presencia de niveles freáticos.

Figura 9. Modelo en Slide 5.0 de simulación Talud altura 10 m

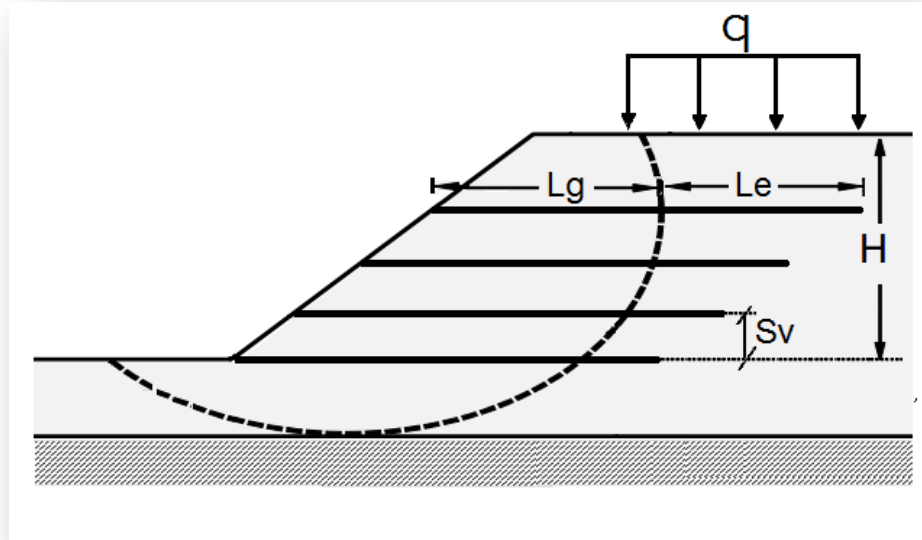


Fuente. Autores.

Cada talud se modeló en dos fases, la primera consiste en un análisis individual de las bermas calculando la sobrecarga generada por el suelo inmediatamente en la parte superior, adicionalmente se consideró la sobrecarga por las actividades a ejecutarse en el área ganada; es indispensable reconocer completamente cuales son las pretensiones del usuario para obtener un valor aproximado de la sobrecarga en la estructura.

En esta fase se propuso una longitud y tensión del refuerzo de acuerdo a la falla de la estructura sin reforzar, dentro de un análisis estático y pseudoestático, manteniendo que la longitud de anclaje (L_e) se conservara mínima de 1 metro detrás del círculo de rotura.

Figura 10. Representación del tipo de falla y especificaciones del refuerzo.

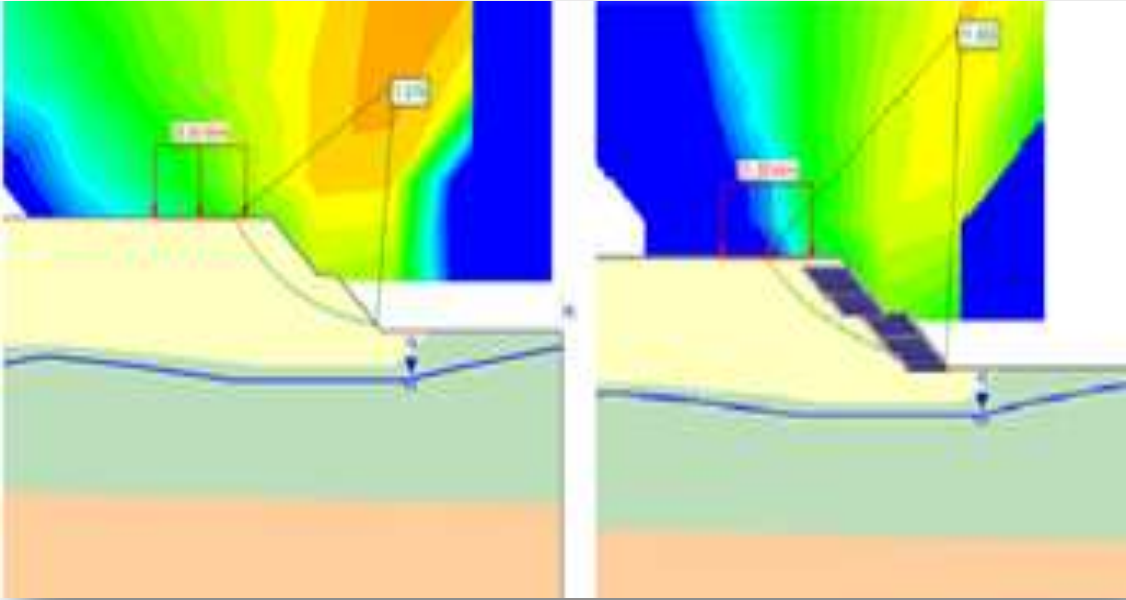


Fuente. Autores.

En la siguiente etapa del análisis se estudió el comportamiento compuesto de la estructura reforzada incluyendo las alturas de las bermas, aquí se hace necesario prolongar la longitud del refuerzo estimado en la primera fase, y en la mayoría de los casos se considera una nueva tensión de anclaje, puesto que el modelo simula una sola estructura; ya no se hace necesario el cálculo de la sobrecarga del suelo y solo se tiene en cuenta aquella que es inducida detrás de la corona.

Para los taludes de menor altura, las prolongaciones del refuerzo son casi nulas, sin embargo aquellas que alcanzan elevaciones de 15m o más, indican que el refuerzo debe poseer longitudes mayores para que traspasen el círculo de rotura y resistan esfuerzos efectivos.

Figura 11. Simulación en Slide 5.0 del tipo de falla y factor de seguridad.



Fuente. Autores.

4. TABLA DE RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

En las tablas siguientes se muestran los resultados de los factores de seguridad de Taludes de 5, 10, 15 , 20 , 25 , 30 y 35 metros; donde:

- F.S: Factor de seguridad.
- ESR: Factor de seguridad estático sin refuerzo.
- DSR: Factor de seguridad dinámico sin refuerzo.
- ECR: Factor de seguridad estático con refuerzo.
- DCR: Factor de seguridad dinámico con refuerzo.

Tabla 7. Resultados del F.S talud altura 5m.

Altura 5 metros				
Pendiente	ESR	DSR	ECR	DCR
5H , 5V	1,888	1,519	2,198	1,755
5H , 4V	1,723	1,461	2,117	1,706
5H , 3V	1,505	1,246	1,905	1,577
5H , 2V	1,396	1,173	1,794	1,484

Tabla 8. Resultados del F.S talud altura 10m.

Altura 10 metros				
Pendiente	ESR	DSR	ECR	DCR
5H , 5V	1,494	1,204	1,56	1,261
5H , 4V	1,355	1,106	1,436	1,169
5H , 3V	1,232	1,012	1,491	1,215
5H , 2V	1,029	0,865	1,296	1,075

Tabla 9. Resultados del F.S talud altura 15m.

Altura 15 metros				
Pendiente	ESR	DSR	ECR	DCR
5H , 5V	1,339	1,075	1,359	1,094
5H , 4V	1,200	0,975	1,336	1,085
5H , 3V	1,049	0,869	1,322	1,099
5H , 2V	0,929	0,782	1,298	1,074

Tabla 10. Resultados del F.S talud altura 20m.

Altura 20 metros				
Pendiente	ESR	DSR	ECR	DCR
5H , 5V	1,247	1,000	1,388	1,096
5H , 4V	1,120	0,931	1,295	1,053
5H , 3V	1,000	0,824	1,303	1,079
5H , 2V	0,870	0,728	1,303	1,097

Tabla 11. Resultados del F.S talud altura 25m.

Altura 25 metros				
Pendiente	ESR	DSR	ECR	DCR
5H , 5V	1,182	0,947	1,328	1,055
5H , 4V	1,055	0,859	1,302	1,058
5H , 3V	0,941	0,775	1,298	1,068
5H , 2V	0,83	0,697	1,221	1,050

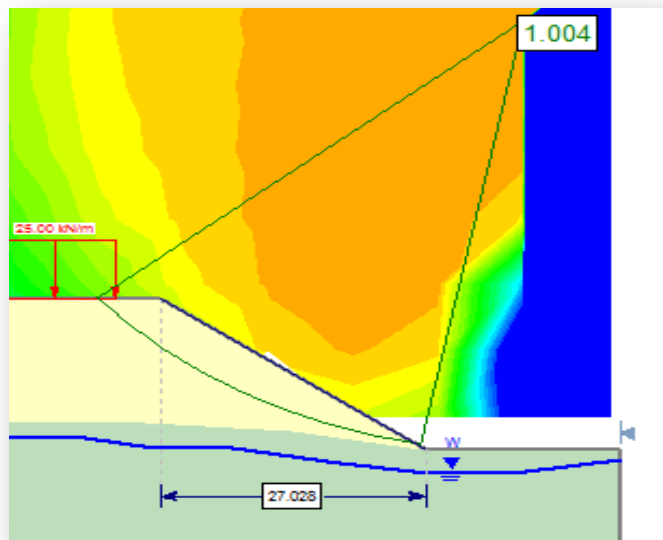
Tabla 12. Resultados del F.S talud altura 30m.

Altura 30 metros				
Pendiente	ESR	DSR	ECR	DCR
5H , 5V	1,142	0,915	1,317	1,053
5H , 4V	1,027	0,835	1,303	1,055
5H , 3V	0,921	0,755	1,270	1,050
5H , 2V	0,813	0,679	1,246	1,052

Tabla 13. Resultados del F.S talud altura 35m.

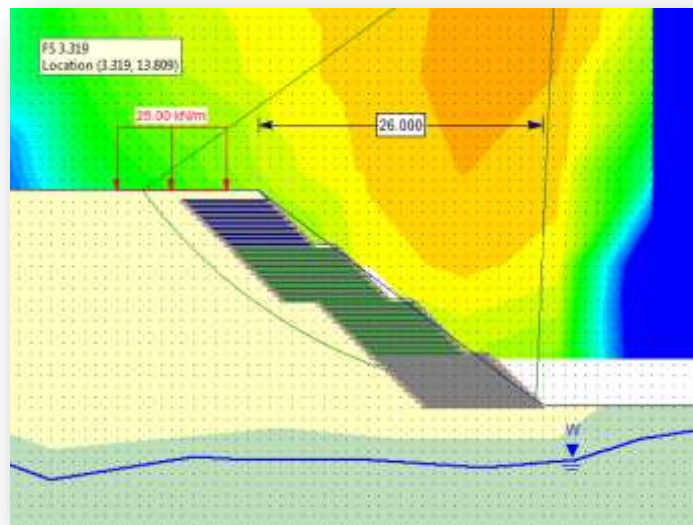
Altura 35 metros				
Pendiente	ESR	DSR	ECR	DCR
5H , 5V	1,116	0,893	1,315	1,048
5H , 4V	1,007	0,820	1,313	1,054
5H , 3V	0,877	0,718	1,270	1,064
5H , 2V	0,772	0,638	1,269	1,069

Figura 13. Simulación Slide 5.0 para talud en reposo con 20m de altura



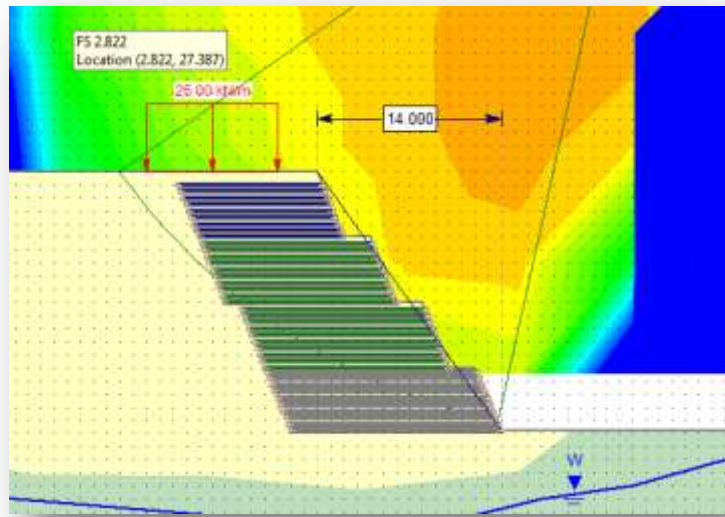
Fuente. Autores.

Figura 14. Simulación Slide 5.0 para talud 20m reforzado con 5H:5V.



Fuente. Autores.

Figura 15. Simulación Slide 5.0 para talud 20m reforzado con 2H:5V.



Fuente. Autores.

Tabla 14. Cantidad de geotextiles para un talud de 20m con bermas para relaciones 5H: 5V.

Elevación [m]	Geotextil Tejido	Cantidad de Geotextil tejido [m]
0-5	T2400	125,00
5-10	T2100	105,00
10-15	T2100	115,00
15-20	T1700	85,50

Fuente. Autores.

Tabla 15. Cantidad de geotextiles para un talud de 20m con bermas para relaciones 2H: 5V.

Elevación [m]	Geotextil Tejido	Cantidad de Geotextil tejido [m]
0-5	T2400	175,00
5-10	T2100	155,00
10-15	T2100	145,00
15-20	T1700	112,50

Fuente. Autores.

Las figuras 13 y 14 describe un talud de 20m con estabilidad en reposo de 36°, que luego es reforzado empleando bermas con pendientes de 45°; bajo esta condición se contribuye a la obtención de 1m de extensión para el área de urbanización con respecto a la condición inicial. Mientras tanto, la figura 15 muestra el aumento en la inclinación del mismo talud empleando bermas con relaciones de 2H: 5V, de esta manera se podrían extender hasta 13m lineales. Sin embargo se percibe el crecimiento de geotextiles acuerdo a la tabla 15.

Tabla 16. Valores de β y X para diferentes elevaciones.

ELEVACIONES	INCLINACIÓN EN REPOSO β	DISTANCIA (X)			
		5H:5V	4H:5V	3H:5V	2H:5V
[m]	[grados]	[m]	[m]	[m]	[m]
5	70	-3,213	-2,213	-1,213	-0,213
10	50	-3,856	-1,856	0,144	2,144
15	41	-2	1	4	7
20	36	1	5	9	13
25	32	7	12	17	22
30	30	11	17	23	29
35	MENOR DE 25	33	40	47	54

Fuente. Autores.

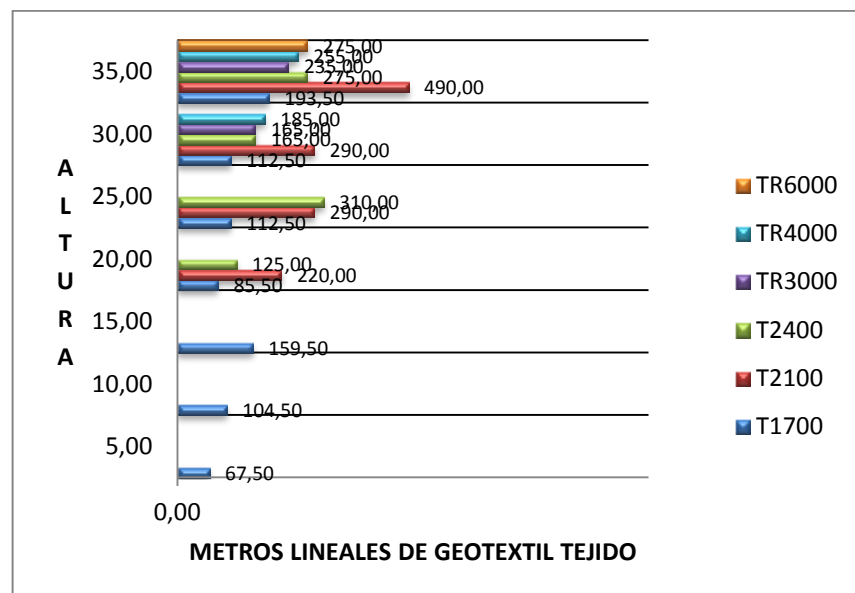
Los valores de x negativos indican que no habido ganancia en la proyección del área de nivelación, es decir, que, a pesar de incluir bermas, el ángulo y ancho de cada una hacen que la estructura sea más acostada con respecto al talud en reposo.

Tabla 17. Cantidad de metros lineales de geotextil para diferentes elevaciones con pendiente 5H: 5V

PENDIENTE 5:5		METROS LINEALES DE GEOTEXTIL					
ALTURA	T1700	T2100	T2400	TR3000	TR4000	TR6000	
5,00	67,50						
10,00	104,50						
15,00	159,50						
20,00	85,50	220,00	125,00				
25,00	112,50	290,00	310,00				
30,00	112,50	290,00	165,00	165,00	185,00		
35,00	193,50	490,00	275,00	235,00	255,00	275,00	

Fuente. Autores.

Gráfica 1. Cantidad de metros lineales de geotextil para diferentes elevaciones con pendiente 5H: 5V



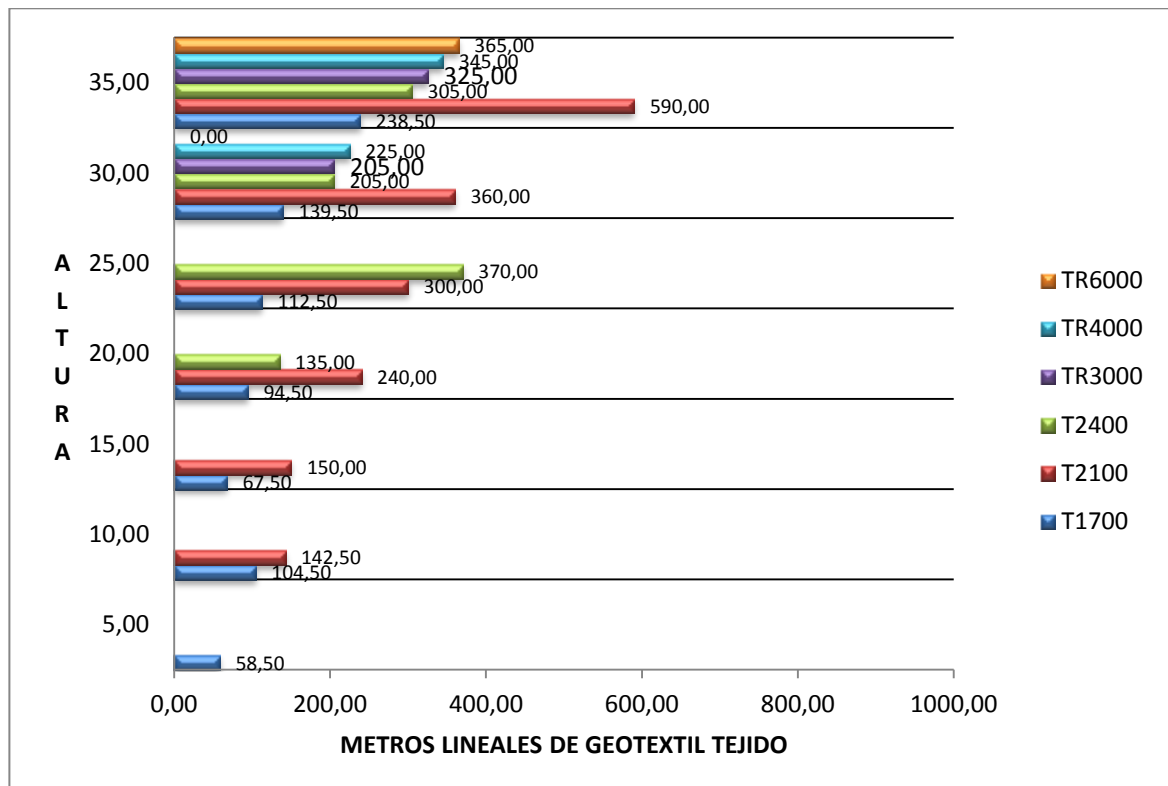
Fuente. Autores.

Tabla 18. Cantidad de metros lineales de geotextil para diferentes elevaciones con pendiente 4H: 5V

PENDIENTE 4:5	METROS LINEALES DE GEOTEXTIL						
	ALTURA	T1700	T2100	T2400	TR3000	TR4000	TR6000
5,00	58,50						
10,00	104,50	142,50					
15,00	67,50	150,00					
20,00	94,50	240,00	135,00				
25,00	112,50	300,00	370,00				
30,00	139,50	360,00	205,00	205,00	225,00	0,00	
35,00	238,50	590,00	305,00	325,00	345,00	365,00	

Fuente. Autores.

Gráfica 2. Cantidad de metros lineales de geotextil para diferentes elevaciones con pendiente 4H: 5V



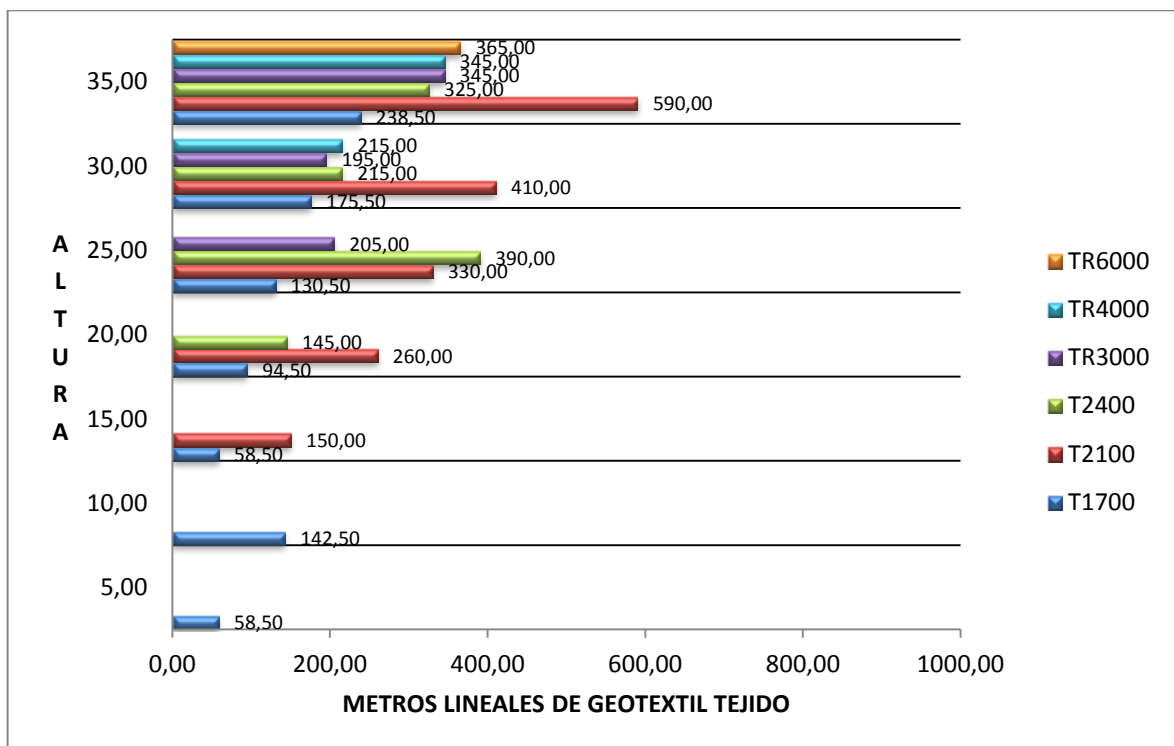
Fuente. Autores.

Tabla 19. Cantidad de metros lineales de geotextil para diferentes elevaciones con pendiente 3H: 5V

PENDIENTE 3:5	METROS LINEALES DE GEOTEXTIL						
	ALTURA	T1700	T2100	T2400	TR3000	TR4000	TR6000
5,00	58,50						
10,00	142,50						
15,00	58,50	150,00					
20,00	94,50	260,00	145,00				
25,00	130,50	330,00	390,00	205,00			
30,00	175,50	410,00	215,00	195,00	215,00		
35,00	238,50	590,00	325,00	345,00	345,00	365,00	

Fuente. Autores.

Gráfica 3. Cantidad de metros lineales de geotextil para diferentes elevaciones con pendiente 3H: 5V



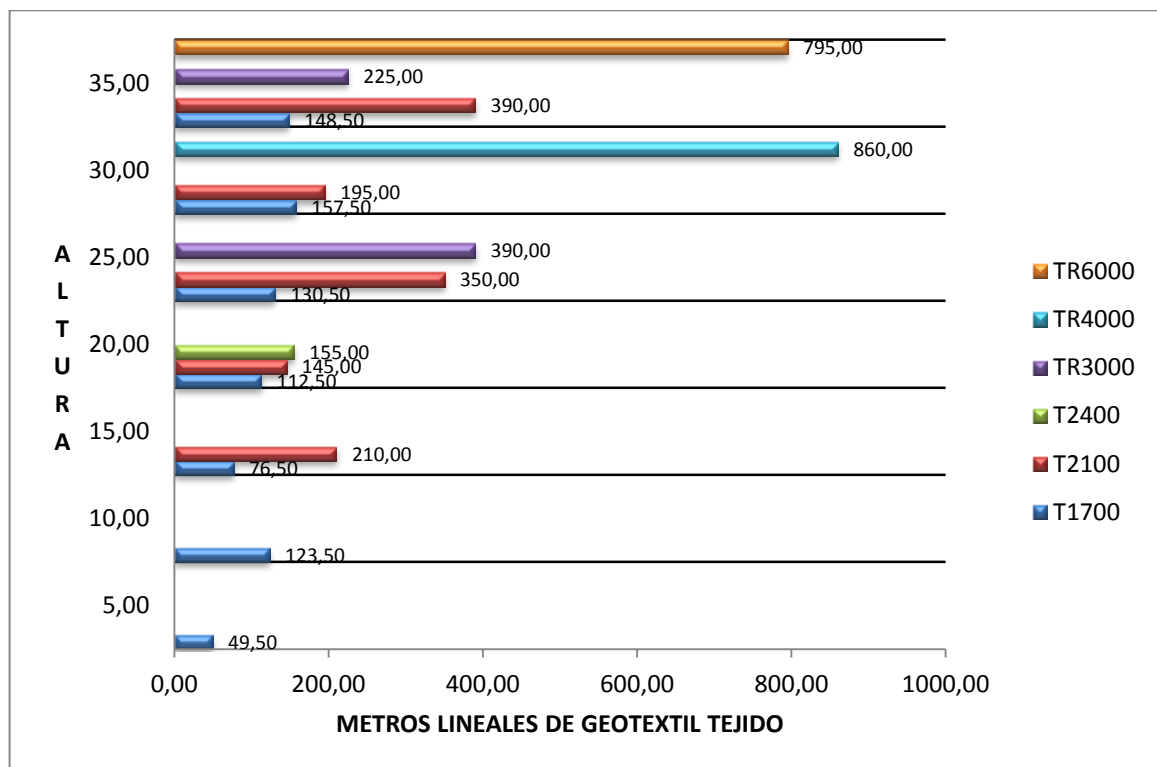
Fuente. Autores.

Tabla 20. Cantidad de metros lineales de geotextil para diferentes elevaciones con pendiente 2H: 5V

PENDIENTE 2:5	METROS LINEALES DE GEOTEXTIL						
	ALTURA	T1700	T2100	T2400	TR3000	TR4000	TR6000
5,00	49,50						
10,00	123,50						
15,00	76,50	210,00					
20,00	112,50	145,00	155,00				
25,00	130,50	350,00		390,00			
30,00	157,50	195,00			860,00		
35,00	148,50	390,00		225,00			795,00

Fuente. Autores.

Gráfica 4. Cantidad de metros lineales de geotextil para diferentes elevaciones con pendiente 2H: 5V



Fuente. Autores.

CONCLUSIONES

Cada simulación posee elevaciones 5m, 10m, 15m, 20m, 25m, 30m, y 35m; analizadas con pendientes de 2H:5V ; 3H:5V ; 4H:5V ; 5H:5V., dentro de los modelos se pudo evidenciar claramente que las estructuras de 5m y 10m presentan el mejor comportamiento, incluso los factores de seguridad son admisibles sin ser intervenidos con el refuerzo sintético; caso contrario son los taludes de 30m y 35m, debido a su gran envergadura, el círculo de falla involucra el suelo de fundación superando la línea de saturación del subsuelo, esto hace la estructura muy vulnerable a colapsar desde la base misma.

Se puede considerar la altura de 15m como la elevación crítica para modelos con ausencia de refuerzo sintético, puesto que el buen comportamiento de la estructura se ve reflejado en la disminución del factor de seguridad para inclinaciones superiores a los 50 °.

En estructuras superiores a los 25m se puede garantizar la estabilidad dentro de los análisis estáticos y pseudoestáticos, siempre y cuando las pendientes no superen relaciones de 4H: 5V.

Es evidente que la máxima inclinación compromete el empleo de más geotextiles, sin embargo inclinaciones como 3H:5V y 4H:5V poseen proporciones similares en cuanto al anclaje del material sintético.

El factor de mayor importancia en el análisis del talud en suelo reforzado es su altura (H), entre más alto sea, mayores serán los esfuerzos internos verticales y horizontales presentes en el suelo de conformación de éste, obteniendo mayores empujes de tierra, lo que representa una prolongación de las longitudes de las capas del geotextil.

RECOMENDACIONES

Se recomienda variar con diferentes alternativas de altura y pendiente del talud, pero se deja al criterio del constructor para escoger el que más le convenga.

El proyecto debe respetar y ceñirse a los lineamientos contenidos en el respectivo plan de ordenamiento territorial del municipio, POT.

Se deben realizar controles periódicos a las obras construidas para evitar el deterioro en los taludes y en las obras de protección y canalización de aguas de escorrentía.

Se debe proteger las zonas expuestas con geotextiles de la degradación temprana por incidencia de la luz ultravioleta, derrame de líquidos y el desgarramiento provocado por la rodadura de elementos, con la implementación de cubiertas o envolturas.

Se debe arborizar los taludes con especies nativas que ayuden a absorber gran cantidad de agua y de esta manera mantener seca la superficie debido a que los suelos pueden presentar saturación en época de lluvias.

La nivelación del predio debe tener especial cuidado en el diseño de las estructuras reforzadas en la zona de mayor depresión, debido a que representa un mayor consumo de material de refuerzo.

Es importante dar manejo al agua presente en el sub-suelo y al agua lluvia. Se recomienda la implementación de colchones drenantes, filtros o drenes tipo francés y de espalda, así como la construcción de un sistema de cunetas

superiores e intermedias, como también la implementación de cunetas interceptoras escalonadas para evacuación del agua lluvia y de escorrentía.

Se debe evitar la construcción de obras civiles que involucren la cimentación de estructuras o la circulación de vehículos pesados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] S.A, Geosistemas PAVCO. 2009. Manual de Diseño con GEOSINTÉTICOS. Novena. Bogotá D.C : Zetta Comunicadores S.A, 2009. Págs. 326.

[2] BUCARAMANGA, CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE. 2005. NORMAS TÉCNICAS PARA EL CONTROL DE EROSIÓN Y PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS GEOLÓGICOS GEOTÉCNICOS E HIDROLÓGICOS. Bucaramanga ,2005.

[3] NSR-10, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. 2010. Título A-Requisitos Generales De Diseño y Construcción Sismo Resistente. Bogotá D.C , 2010.

[4] NSR-10, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. 2010. Título H- Estudios Geotecnicos. Bogotá D.C , 2010.

[5] Díaz, Jaime Suárez. 2001. DESLIZAMIENTOS: TECNICAS DE REMEDIACION . Bucaramanga: Colombia , 2001. págs. 211-237.

[6] Díaz, Jaime Suárez. 2001. Control de Erosión en Zonas Tropicales. Bucaramanga : Universidad Industrial De Santander, 2001. págs. 16-73 , 194-225, 350-459

[7] M.Koerner, Robert. 2005. Designing With Geosynthetics. Fifth. New Jersey : Pearson Prentice Hall, 2005.

[8] AASHTO-AGC_ARTBA Task force 27 (1991). "Design Guidelines for the use of extensible reinforcement(Geosynthetic) for Mechanically Stabilized Earth Walls in Permanent Applications",.

[9] Faustino Valero R, "Criterios para el proyecto de estructuras de suelo reforzado", (del Polo Ibero-Americano del Grupo Freyssinet-Tierra Arnada-Menard)

[10] Silvio Rojas, "Geotextiles", Universidad de Los Andes, Merida, Venezuela, Facultad de Ingeniería,
Departamento de Vías, Fundaciones. 2009.

[11] Jones, Colin J.F.P. 1996. Earth reinforcement & soil structures.New Edition.UK : ASCE Press, 1996.

[12] D.Holtz, Robert, R.Christopher, Barry y R.Berg, Ryan. 1997. Geosyntheticengineering. Canada :Bitech Publisher Ltd, 1997.

[13] Daniel Salcedo, Rodolfo Sancio. 1988. Guía Simplificada Para Identificación Y Prevención De Problemas Geotécnicos En Desarrollos Urbanos. Caracas .1988

[14]NATIONAL HIGHWAY INSTITUTE, FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, Mechanically Stabilized Earth Walls And Reinforced Soil Slopes Design AndConstruction Guidelines, FHWA-NHI-00-043, March 2001.

BIBLIOGRAFIA

AASHTO-AGC_ARTBA Task force 27 (1991). "Design Guidelines for the use of extensible reinforcement(Geosynthetic) for Mechanically Stabilized Earth Walls in Permanent Applications",.

BUCARAMANGA, CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE. 2005.NORMAS TÉCNICAS PARA EL CONTROL DE EROSIÓN Y PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS GEOLÓGICOS GEOTÉCNICOS E HIDROLÓGICOS. Bucaramanga ,2005.

D.Holtz, Robert, R.Christopher, Barry y R.Berg, Ryan. 1997. Geosyntheticengineering. Canada :Bitech Publisher Ltd, 1997.

Daniel Salcedo, Rodolfo Sancio. 1988. Guía Simplificada Para Identificación Y Prevención De Problemas Geotécnicos En Desarrollos Urbanos. Caracas .1988

Díaz, Jaime Suárez. 2001. DESLIZAMIENTOS: TECNICAS DE REMEDIACION Bucaramanga: Colombia , 2001. págs. 211-237.

Díaz, Jaime Suárez. 2001. Control de Erosión en Zonas Tropicales. Bucaramanga : Universidad Industrial De Santander, 2001. págs. 16-73 , 194-225, 350-459

Faustino Valero R, "Criterios para el proyecto de estructuras de suelo reforzado", (del Polo Ibero-Americano del Grupo Freyssinet-Tierra Arnada-Menard)

Jones, Colin J.F.P. 1996. Earth reinforcement & soil structures.New Edition.UK : ASCE Press, 1996.

NATIONAL HIGHWAY INSTITUTE, FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, Mechanically Stabilized Earth Walls And Reinforced Soil Slopes Design And Construction Guidelines, FHWA-NHI-00-043, March 2001.

NSR-10, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. 2010. Título A-Requisitos Generales De Diseño y Construcción Sismo Resistente. Bogotá D.C , 2010.

NSR-10, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. 2010. Título H- Estudios Geotecnicos. Bogotá D.C , 2010.

M.Koerner, Robert. 2005. Designing With Geosynthetics. Fifth. New Jersey : Pearson Prentice Hall, 2005.

S.A, Geosistemas PAVCO. 2009. Manual de Diseño con GEOSINTÉTICOS. Novena. Bogotá D.C : Zetta Comunicadores S.A, 2009. Págs. 326.

Silvio Rojas, "Geotextiles", Universidad de Los Andes, Merida, Venezuela, Facultad de Ingeniería, Departamento de Vías, Fundaciones. 2009.