



**Universidad de San Carlos De Guatemala**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**TALUDES REFORZADOS CON GEOSINTÉTICOS UTILIZADOS  
EN CARRETERAS**

**ERICK JAVIER RENDÓN RODAS**

**Asesorado por Ing. Raciél Humberto Gaitán Del Cid**

**Guatemala, octubre de 2005**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**TALUDES REFORZADOS CON GEOSINTÉTICOS UTILIZADOS EN  
CARRETERAS**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**POR**

**ERICK JAVIER RENDÓN RODAS**

**ASESORADO POR ING. RACIEL HUMBERTO GAITÁN DEL CID**

**AL CONFERÍRSE EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**GUATEMALA, OCTUBRE DE 2005**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	<b>Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos</b>
<b>VOCAL I</b>	
<b>VOCAL II</b>	<b>Lic. Amahán Sánchez Álvarez</b>
<b>VOCAL III</b>	<b>Ing. Julio David Galicia Celada</b>
<b>VOCAL IV</b>	<b>Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz</b>
<b>VOCAL V</b>	<b>Br. Elisa Yazminda Vides Leiva</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas</b>

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EN EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	<b>Ing. Julio González Podszueck</b>
<b>EXAMINADOR</b>	<b>Ing. Gabriel Ordóñez Morales</b>
<b>EXAMINADOR</b>	<b>Ing. Arlintong Samuel Marroquín</b>
<b>EXAMINADORA</b>	<b>Inga. Elvia Miriam Luballo Samayoa</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Ing. Francisco Javier González</b>



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

**Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:**

**TALUDES REFORZADOS CON GEOSINTÉTICOS UTILIZADOS  
EN CARRETERAS,**

**tema que me fue asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 14 de febrero de 1999**

**Erick Javier Rendón Rodas**





## AGRADECIMIENTOS

- **A la Universidad de San Carlos de Guatemala, muy especialmente a la Facultad de Ingeniería**
- **Al Ingeniero Raciel Humberto Gaitán del Cid, asesor del presente trabajo.**
- **A las Empresas: Comosa, Precon, Construga y Padegua.**
- **Al Pueblo de Guatemala.**
- **A usted, muy especialmente.**



## ACTO QUE DEDICO A:

- **DIOS**

Porque es la fuente de toda sabiduría y porque gracias a su gran amor he llegado hasta éste día.

- **MIS PADRES**

Javier Antonio Rendón Vides(Q.E.P.D) quién siempre me enseñó el camino de la humildad, la perseverancia y el amor al estudio.

Elvira Rodas de Rendón: quién trabajó al lado de mi padre para que pudiera estudiar.

- **MIS HERMANOS**

Karla, Lorena y Renato: porque sé que puedo contar con ustedes en todo momento.

- **MI ESPOSA**

Ana Flores de Rendón: por el cariño y el apoyo que me han ayudado a salir adelante.

- **MIS HIJOS**

Javier y Ana Elisa: fuente de inspiración para la realización de mi carrera.

- **TODA MI FAMILIA**

Por todo su apoyo



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII

<b>1</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
1.1	Altura de muro	3
1.2	Tipos de carga	5
1.3	Ángulos de fricción	6
<b>2</b>	<b>TIPOS DE GEOSINTÉTICOS</b>	<b>9</b>
2.1	Textil tejido	9
2.2	Geotextil	10
<b>3</b>	<b>SOLUCIÓN DE TIERRA REFORZADA</b>	<b>13</b>
3.1	Base teórica	13
3.2	Diseño y cálculo	15
3.3	Diseño de estabilidad interna	15
3.4	Diseñar los sistemas de drenaje	16

3.5	Verificar la estabilidad externa del muro	17
3.6	Estabilidad interna	17
3.7	Estabilidad externa	19
3.7.1	Establecer los límites del diseño, alcance del proyecto y las cargas externa.	19
3.8	Determinar las propiedades del suelo base	21
3.9	Determinar las propiedades del suelo a usar en la Construcción del muro y las del relleno de confinamiento.	22
3.10	Cargas dinámicas	23
3.11	Ejemplo de diseño	23
3.12	Análisis de estabilidad externa	34
3.13	Ejemplo	38
<b>4</b>	<b>DRENAJES DE TALUD</b>	<b>55</b>
4.1	Colocación según su tipo	55
4.2	Terminación en cara expuesta	56

<b>5</b>	<b>MODELO</b>	<b>57</b>
5.1	Proceso de construcción	57
5.2	Preparación del nivel de cimentación	57
5.3	Colocación de la primera capa de geotextil	58
5.4	Colocación del suelo	58
5.5	Remoción de formaleta	59
<b>6</b>	<b>PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO</b>	<b>61</b>
6.1	Preparación de la fundición	61
6.2	Construcción del sistema de drenaje	61
6.3	Colocación del geotextil	62
6.4	Colocación del material de relleno	62
6.5	Construcción de las capas	63
6.6	Refuerzo de taludes en terraplenes	67
6.7	Generalidades	67
6.8	Consideraciones de diseño	72
6.9	Establecer las dimensiones geométricas y condiciones de carga.	74
6.10	Análisis de estabilidad de los taludes del terraplen sin refuerzo	77
6.11	Diseño del refuerzo necesario para la estabilidad del talud	78
6.12	Chequeo a la estabilidad externa	82
6.13	Procedimiento constructivo	85
	6.13.1 a. Preparación del suelo de fundación construcción del sistema de drenaje	85
	6.13.1.1 Estructuras de drenaje	85

6.13.1.2	Estructuras de subdrenaje	86
6.14	Fachada	88
6.15	Generalidades	89
6.16	Refuerzo de terraplenes sobre suelos blandos	91
6.17	Consideraciones de diseño	93
6.18	Beneficios del geotextil	95
6.19	Análisis teórico	97
6.20	Geometría	98
6.21	Propiedades del geotextil	102
<b>CONCLUSIONES</b>		105
<b>RECOMENDACIONES</b>		107
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		109



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Cargas vivas	25
2	Carga lineal	26
3	Longitud geométrica hasta la zona de falla	30
4	Análisis de soluciones de contención	41
5	Planta de lotes	50
6	localización de muros	50
7	Sección A-A' Muros en suelos reforzados	51
9	Colocación del rollo de geotextil sobre el suelo	64
10	Conformación de pliegue superior	65
11	Construcción de motilado	65
12	Colocación del material al relleno y al alcanzar la altura de diseño.	66
13	Retiro de formaleta e inicio repetitivo	66
14	Reducción del volumen	70
15	Alternativa para evitar la construcción de muros de contención rígidos	71
16	Obtención de área plana	71

17	Obtención de área plana adicional	72
18	Diagramas de cargas en estabilidad de talud	78
19	Drenajes de muro	84
20	Drenajes para protección	87
21	Falla por capacidad Portante	93
22	Falla Rotacional	94
23	Falla por desprendimiento lateral	94

## **TABLAS**

I	Materiales utilizados como refuerzo	12
II	Materiales utilizados para terraplenes	22
III	Presiones sobre el suelo originadas por cargas vivas	28
IV	Capas según la profundidad	33
V	Tipos de suelo en construcción de terraplenes	76

## FOTOGRAFÍAS

1	Espacio en muro terminado	45
2	Muro en Suelo Reforzado existente en la zona del Proyecto	46
3	Proceso de Construcción durante la primera semana de trabajo	46
4	Vista muro terminado	47
5	Proceso de Construcción un mes después de iniciados los trabajos	47
6	Proceso de Construcción finalizado e incorporado a la Residencia	48
7	Vista lateral del muro terminado	49
8	Vista de las envolturas con Ecomatrix Green	53



## GLOSARIO

<b>Ángulo de fricción</b>	Combinación de esfuerzos entre el suelo y el geosintético.
<b>Carretera</b>	Vía de tránsito público en zonas no urbanas.
<b>Derecho de vía</b>	Área o superficie de terreno propiedad del estado dentro de la cual se construye una vía.
<b>Geosintéticos</b>	Son soluciones de materiales sintéticos utilizados para trabajos en tierra.
<b>Hombro</b>	Área a ambos lados de la vía que proporciona soporte lateral al pavimento y sirve como parada de emergencia para los vehículos que circulan por la carretera.
<b>Talud</b>	Área de terreno en corte o relleno comprendido entre la cuneta y el terreno original.
<b>Vía</b>	calle, camino o carretera por donde transitan los vehículos.



## ABREVIATURAS

<b>G/m<sup>2</sup></b>	Densidad, gramas sobre metro cuadrado.
<b>%</b>	Porcentaje.
<b>m</b>	Longitud, metro lineal.
<b>&gt;=</b>	Mayor o igual que.
<b>mm</b>	Milímetros.
<b>t/m<sup>3</sup></b>	Tonelada sobre metro cúbico.
<b>&lt;=</b>	Menor o igual.
<b>Kn/m</b>	Fuerza, kilonewton/metro.
<b>T/m<sup>2</sup></b>	Carga, tonelada sobre metro cuadrado.
<b>T/m</b>	Fuerza, tonelada / metro.
<b>T*m</b>	Momento, tonelada por metro.
<b>Fs</b>	Factor de seguridad.
<b>W</b>	Peso.
<b>Pa</b>	Presión activa.





## **RESUMEN.**

Los geosintéticos aplicados en taludes son el conjunto de trabajos que se realizan en diferentes períodos de tiempo y en los diferentes elementos de una carretera; derecho de vía, hombros, drenajes etc.

El propósito es que las carreteras se conserven en buenas condiciones y presten el servicio para el cual fueron diseñadas de una manera eficiente.

Todos los tipos de carreteras requieren de un mantenimiento periódico y efectivo. En sus diferentes elementos, tales como, drenajes, cunetas y, en este caso, taludes. Esto, para poder mantener la estructura principal de la carretera en buenas condiciones. Recordemos que, en cuestión de taludes, uno de los elementos que más los hace fallar es el agua y la erosión, lo que significa que debemos de crear buenas condiciones en las obras auxiliares.

La acción constante de los elementos y las cargas que actúan sobre un talud lo desgastan, provocando daños que deben ser tratados de acuerdo al grado de severidad; además, para que un talud sea efectivo se deben emplear materiales que cumplan con los requisitos o especificaciones normados que se determinan a través de ensayos de laboratorio.

Para que un talud sea adecuado, también, se debe utilizar el equipo correcto y específico, de modo que los buenos materiales sean respaldados por buenos métodos.



## **OBJETIVOS**

### **General**

**Elaborar un documento en el cual se recopilen las normas, métodos, criterios, especificaciones y procedimientos necesarios para un adecuado mantenimiento de carreteras en lo que se refiere a taludes fabricados con geosintéticos.**

### **Específicos**

- 1. Proveer información necesaria acerca de los métodos, equipo y materiales necesarios para llevar a cabo el mantenimiento en los elementos de taludes y obras auxiliares en carreteras.**
- 2. Determinar los principales problemas o fallas que ocurren, sus causas y su tratamiento.**
- 3. Brindar información al estudiante o al ingeniero civil sobre los materiales que se utilizan en los taludes con geosintéticos en carreteras, sus especificaciones y los ensayos necesarios para determinar su calidad.**
- 4. Determinar cual es el equipo adecuado para llevar a cabo cada actividad de refuerzo de taludes.**



## INTRODUCCIÓN

Las carreteras son en nuestro país la vía de comunicación terrestre más importante. La mayor parte de los intercambios comerciales a nivel nacional e internacional, se lleva a cabo por estas, además, la mayoría de la población se transporta a través de las carreteras que forman parte de la red vial del país.

No obstante, son la vía de comunicación mas importante. La mayor parte de las carreteras del territorio nacional se encuentran en malas condiciones; esto se debe, principalmente, a un mal mantenimiento por parte de las instituciones encargadas de efectuarlo y, además, muchas de las carreteras ya completaron el período de vida útil. Muchas veces, este deficiente mantenimiento se debe a la mala aplicación de los métodos y de los materiales que se utilizan.

Por esta razón, se hace necesario contar con un documento que recopile los principales aspectos que intervienen en el mantenimiento de carreteras; en este caso, lo referente a taludes reforzados con geosintéticos.

En el presente documento, se presenta una guía practica para poder llevar a cabo el mantenimiento de carreteras; tomando en cuenta, el refuerzo de taludes. Primero, se exponen los aspectos generales el mantenimiento, sus definiciones y su alcance.

**Además, se describen de una manera practica los procedimientos básicos para realizar el trabajo de reforzamiento de taludes, utilizando geosintéticos.**

**Se presentan, también, los aspectos generales del mantenimiento de taludes, describiendo los diferentes tipos de fallas, cómo ocurren y su tratamiento adecuado de acuerdo a los diferentes grados de severidad.**

**Finalmente, se describen las especificaciones de los materiales que se emplean, los ensayos de laboratorio necesarios para llevar un estricto control de calidad y los requisitos del equipo preciso para llevar a cabo cada actividad dentro del mantenimiento de taludes en las carretera**







# 1. ANTECEDENTES

Los geosintéticos aplicados a muros de contención son soluciones no sólo estructurales, sino, también, económicas para una carretera. El geosintético refuerza, internamente, la masa del suelo, permitiendo el incremento del factor de seguridad contra la falla.

De esa manera, el geotextil es utilizado como elemento que une los esfuerzos de tensión y puede sustituir a los elementos de concreto ciclópeo o reforzado.

El geosintético asume las fuerzas de tensión en el suelo reforzado y permite un refuerzo de tipo mecánico dentro de la masa del suelo.

Para explicar este procedimiento se dan varios métodos de cálculos basados en la mecánica de suelos, ya que, han sido comprobados en el campo.

Los métodos de evaluación de estabilidad hacen un análisis de condición límite dando el mecanismo cinemática de falla y determinando las fuerzas que lo producen.

El geosintético posee una alta resistencia a la tensión y aporta una fricción con el suelo, disminuye las fuerzas que causan la falla y

ayudan a mejorar la resistencia de todo el sistema, se utilizará el método de MOHR y la teoría de RANKINE.

Uno de los tipos de obras más comunes en la ingeniería de vías ha sido la de muros de contención, bien sea para la conservación de las dimensiones de la banca o contención de suelos en deslizamientos.

Tradicionalmente se han venido utilizando muros de contención por gravedad que absorben las presiones horizontales gracias a su gran masa. Una de las alternativas presentadas a mediados de la década de los sesenta, fue creada por el ingeniero francés Henry Vidal, que consistía en la inclusión de una serie de tiras metálicas, amarradas a unos elementos externos que componían la cara del muro, hasta una determinada longitud dentro del relleno utilizado, para conformar así la masa de contención. Este es un sistema que se ha venido empleando con relativo éxito en la actualidad y tiene el nombre registrado de tierra armada. Se ha visto que aunque el sistema tiene un buen desempeño, su principal problema radica en la determinación de la duración del refuerzo metálico dentro del suelos, ya que este se encuentra expuesto a un proceso permanente de corrosión.

Gracias al desarrollo de nuevos materiales que pueden soportar las condiciones de humedad y de acidez o alcalinidad dentro del suelo, se ha venido implementando el uso de mantos sintéticos tales como los geotextiles, para que suministren refuerzo, debido a las características mecánicas que estos poseen, como su resistencia a la tensión.

Los estudios que condujeron al uso de esta nueva tecnología tuvieron origen en Francia y Suecia a finales de la década de los setenta.

Los muros de contención reforzados con geotextil se han convertido mundialmente en una alternativa de construcción frente a los muros de concreto reforzado y a los terraplenes conformados naturalmente, principalmente cuando hay deficiencias en la capacidad portante del suelo de fundación o cuando las condiciones geométricas de la sección de la vía no permiten que las zonas de relleno sean realizadas a un Angulo igual o menor al de reposo natural del suelo de relleno.

No necesariamente las condiciones tiene que ser tan criticas como las mencionadas anteriormente, la gran ventaja es que son alternativas mas económicas, de hecho bajo las mismas condiciones geotécnicas y constructivas, un muro de suelo reforzado puede originar una reducción de los costos totales de un 30% a un 60%, se compara con las técnicas tradicionales para la construcción de este tipo de obras, debido al hecho de poder utilizar los materiales térreos del sitio.

## **1.1 Altura de muro**

Es una de las fuentes más requeridas para poder desarrollar la metodología de cálculo.

Un talud no reforzado tiene un ángulo de reposo natural que es controlado por la resistencia al corte del suelo. Se debe tomar en cuenta la resistencia al corte a partir de ángulo de fricción interna ( $20^\circ$  para arcilla y  $35^\circ$  para arenas y gravas).

Las pendientes entre 2.0h:1.0V y 3.0h:1.0V pueden facilitar la utilización del factor de seguridad del talud para suelo no reforzado.

Llegando a un límite de 1.0h: 1.0V se utiliza para una mayor pendiente y se hace generalmente un análisis como estructura de contención (sí se utiliza suelo reforzado).

En suelos reforzados, se efectúa un procedimiento similar a los realizados en estabilidad de taludes, donde una pequeña porción del suelo se considera deslizando sobre una potencial superficie de falla.

Se considera también que la porción deslizante es anclada a una masa estable por tensión en los elementos de refuerzo equilibrando la falta de momento existente que se puede expresar para una falla circular.

Conocido el valor de la falta de momento resistente, este deberá suministrarse por capas, interceptando la superficie probable de falla. Cada capa tendrá asociada a una resistencia a la tensión y una distancia normal (brazo de momento) medida desde el centro del círculo. Este es un proceso repetitivo hasta que la falta de momento sea igual al momento suministrado por el refuerzo.

Se deberá verificar la longitud anclada del refuerzo en la porción del suelo estable; también se recomienda llevar el refuerzo hasta el borde del talud, con lo cual se estabilizan las pequeñas curvas de superficie, las cuales en taludes empinados presentan generalmente bajos factores de seguridad.

La altura del muro se determina entonces a través del ángulo de reposo natural y la inclinación del talud diseñado.

## 1.2 Tipos de cargas

Un elemento de refuerzo en el suelo, efectúa una función similar a la que efectúa el acero en el concreto reforzado, llenar una deficiencia estructural. El principio básico es que donde se incluye un refuerzo, una alta resistencia al corte es desarrollada en el suelo, lo cual es el resultado de un incremento del esfuerzo normal a través de la superficie potencial de falla y simultáneamente una disminución del esfuerzo cortante actuando en el suelo.

Los esfuerzos que se originan dentro del cuerpo del elemento como consecuencia de su propio peso, de la acción de sobrecargas, de la presencia de agua y otros empujes, se transmiten al refuerzo por fricción, el cual a su vez los resiste mediante fricción, anclándose en una zona totalmente estable.

La definición de las cargas pueden ser de dos tipos:

Cargas externas producidas por:

- El peso de vehículos
- El peso de zapatas y columnas
- El peso de otros muros adheridos a este

**Cargas internas producidas por:**

- Su propio peso
- Presencia de agua
- Empujes internos
- Aceleraciones debidas a sismos o cargas pulsantes.

### **1.3 Ángulos de fricción**

**La combinación de esfuerzos entre el suelo y el geosintético; es, en primer lugar, la fricción suelo-geosintético; y en segundo lugar, termina la resistencia pasiva del suelo. Los dos mecanismos se pueden encontrar individual y conjuntamente activas en determinado sistema de refuerzo.**

**Ejemplo de geotextil: aquí el mecanismo activado es la fricción.**

**Ejemplo de geomalla: aquí se combinan ambos mecanismos siendo la resistencia pasiva más importante y la contribución de la fricción muy pequeña.**

Teniendo en cuenta los costos que representa el desarrollo de la tierra reforzada, se pueden utilizar los geosintéticos como elementos de refuerzo ayudando a un mejor aprovechamiento de los recursos naturales.

Si tenemos un ángulo menor que el ángulo de fricción-refuerzo, la fuerza de rozamiento tendrá lugar sin deslizamiento y así todas las partículas en contacto con la armadura, estarán unidos por el refuerzo, unos con otros.

Para verificar este fenómeno se toma cada punto en contacto de refuerzo con el suelo, la fuerza de rozamiento tiene que tener lugar sin deslizamiento, y se puede expresar de la siguiente forma

Donde ocurre:

- Cambio de tensión en le refuerzo separados por una longitud.
- Esfuerzo normal a al plano del refuerzo de un ancho unitario
- rozamiento suelo-refuerzo





## 2 TIPOS DE GEOSINTÉTICOS

### 2.1 Textil tejido

Son textiles usados en estabilización y tienen una baja elongación entre un 10% y 50%; el textil es rígido con poco alargamiento. Las cintas tejidas son largas y son tejidas juntas en una misma capa. Esto produce un textil delgado y rígido con un solo plano o dimensión.

La elongación es derivada del mismo ensayo de tensión determina que tanto se alarga el textil inmediatamente antes de romperse y está expresado como el porcentaje de cambio antes de la ruptura..

La elongación varios efectos en la instalación del textil y sus efectos difieren dependiendo del tipo de textil y del proceso de fabricación.

Muchas veces los ingenieros se preocupan por la resistencia y la dirección más débil. Pero otros promedian la resistencia en ambas direcciones y publican un promedio típico. Un textil del cual se reporta un promedio típico no cumplirá necesariamente con las especificaciones de un organismo; puede ser que si, pero también puede ser que no.

Para trabajar con geosintéticos siendo este un textil tejido se debe tomar en cuenta algunas especificaciones importantes como por ejemplo el peso por área que es una manera fácil para que el ingeniero vea que está obteniendo la cantidad de textil necesario para poder formar las capas necesarias en la elaboración de los taludes.

Es importante también conocer el espesor del geotextil ya que mientras más grueso sea el textil, tendremos más resistencia a la tensión y en sí se podrá aprovechar el material de relleno.

Entre la estructura del textil tejido podemos mencionar como materia prima el polipropileno. El poliéster, el polietileno, el poliamida, nylon, etc. Entre los tipos de fibra, podemos citar el de un filamento el de filamentos múltiples, cintas planas y fibrilado entre su proceso de enlace podemos mencionar únicamente el tejido y su densidad está entre 100 y 550g/m<sup>2</sup>.

## 2.2 Geotextil

Los geotextiles son clasificados en base a los polímeros y a su estructura. El más común, a base de polímeros de geotextiles son polipropileno y poliéster. Los geotextiles de nylon son ocasionalmente usados, ya que la falta de durabilidad requiere de aplicaciones permanentes y para el diseño de taludes no podrían ser utilizados.

Las dos estructuras principales de los geotextiles son los textiles tejidos principalmente utilizados en taludes y los no tejidos, siendo la diferencia entre ambos el tipo de filamento utilizado. El área de la abertura del textil tejido es el aumento del área de abertura efectiva y el geotextil no tejido es elevado de filamentos muy finos los cuales son mecánicamente unidos para proveer al tejido estabilidad y resistencia.

Los filamentos pueden ser continuos los cuales proveen estabilidad y resistencia. Los filamentos pueden ser continuos o fibras cortas.

Según el tipo de material así será la aplicación que se le deberá dar a los tipos de materiales utilizados. Dentro de los materiales utilizados dentro de la siguiente tabla, por su doble propósito, la facilidad de análisis y la simplicidad de los procesos constructivos hay algunos que son los más aplicados. Aunque en Guatemala no se producen geotextiles, la importación es muy variada y de buena calidad la cual nos facilita resolver cualquier tipo de problema en tierra reforzada. A continuación la siguiente tabla nos indica los materiales utilizados como refuerzo:

**Tabla I. Materiales utilizados como refuerzo.**

REFUERZO	CONTINUO	ANALISIS	MUROS	TERRAPLEN
Cintas metálicas	discontinuas	aplicable	*	*
Lisas	a lo largo	-	-	-
Corrugadas	del muro	-	-	-
Geomalla	si	aplicable	*	*
Geotextiles	si	aplicable	*	*
Fibras	no	convencional	-	*
Suelo Apuntillado	no	especial	-	*
Suelo Anclado	no	especial	*	*
Pilotes	no	especial	-	*

Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

\* Se deben utilizar parámetros para el suelo estabilizado con fibras

Los geotextiles no tejidos de polipropileno están bien elevados para amplia variedad de aplicaciones de la ingeniería civil y son los mas usados en el mundo. Estos tipos de geotextiles deberán ser utilizados con precaución ya que no son aplicables para aplicaciones de filtración o estabilización de caminos sobre suelos blandos. También pueden ser utilizados para estabilizar suelo débil (CBR menor que el 3%) sobre el cual una sección será construida. Puede también extender la vida de servicio de un camino construido sobre suelo de mediana resistencia (CBR entre 3% y 7%). El comportamiento del camino es previsto por la capacidad virtual de separación del geotextil.

## **3. SOLUCIONES EN TIERRA REFORAZADA**

### **3.1 Base teórica**

El uso de la tierra reforzada es muy conocida en el medio geotécnico, sin embargo, una gran cantidad de ingenieros no comprenden el sencillo mecanismo mediante el cual, un elemento de refuerzo sirve de estabilizante a una estructura de suelo.

En general, un elemento de refuerzo en el suelo, efectúa una función similar a la que realiza el acero en el concreto, reforzado, subsanar una deficiencia estructural.

Al concluir un material con resistencia a la tensión dentro de una masa de suelo que debe soportar una serie de empujes, se logra aumentar la resistencia general del conjunto, básicamente por el esfuerzo cortante desarrollado entre el geotextil y las capas de suelo adyacente.

Existen un sin-número de planteamientos para resolver el diseño de un muro en suelo mecánicamente estabilizado, dentro de los cuales se pueden nombrar el del Servicio Forestal de los Estados Unidos (revisado en 1983), Broms (1978), Collin (1986), Bonaparte Et al. (1987), Leshinsky y perry (1987), Schmertmann et al. (1987) y Whitcomb Y bell (1979).

La diferencia entre estos métodos radica principalmente en la manera de enfocar las distribuciones de esfuerzos, la superficie de

falla y los valores para los diversos factores de seguridad involucrados. Su similitud se basa en que asumen que en la estructura no se presentan presiones hidrostáticas y que la superficie de falla activa es una superficie plana definida por la metodología de Rankine. Sin embargo se ha demostrado que la inclusión de un refuerzo altera el estado de esfuerzos y tensiones en una masa de suelo no reforzada.

Para permitir una familiarización con el proceso de diseño que los muros en suelos reforzado requieren, se listara a continuación la serie de pasos necesarios con el fin de evaluar tanto la estabilidad interna como externa del muro.

. El principio básico de la tierra reforzada, es que donde se incluye un refuerzo, una parte de resistencia al corte es desarrolla, en el suelo, lo cual es resultado de un incremento del esfuerzo normal. A través de la superficie potencial de falla y simultáneamente una disminución del esfuerzo cortante actuando en el suelo.

Es posible que el mecanismo expresado anteriormente sea claro; sin embargo, varios investigadores sobre tierra reforzada han expresado mediante la mecánica de suelos clásica, el funcionamiento del conjunto suelo-esfuerzo. Algunos han expresado el efecto como la generación de una cortesia, y otros como un incremento en la presión de confinamiento, ambas representadas mediante círculos de Mort. Teniendo muchos años de haberse sugerido.

### **3.2 Diseño y calculo**

En un muro de contención con geotextil el diseñar es muy sencillo, pero se deben considerar los siguientes aspectos:

- a) Lograr determinar la estabilización del muro o del bloque rígido o tomando en cuenta que la sumatoria de momentos sea a favor del muro, y la estabilidad general contra una falla rotacional profunda del suelo fundación..
- b) Se deben tomar en cuenta también el tipo de recubrimiento de la cara expuesta y el sistema de captación de aguas superficiales y profundas; asegurando así, una buena condición de drenaje.

### **3.3 Diseño de estabilidad interna**

- 1. Determinar las dimensiones preliminares del muro.
- 2. Por razones constructivas y para evitar un embobamiento en la cara externa de cada una de las capas, se recomienda que la altura de las capas de refuerzo no exceda los 50 cms, así en el calculo se hayan obtenido valores mayores.

3. **Dimensión de la base del muro.** En la mayoría de los casos asume inicialmente como  $\geq 0.7 * \text{altura máxima}$ .
4. **Desarrollar los diagramas de presión lateral de tierras para la sección reforzada.** Estos se componen por la sumatoria de los valores obtenidos para el empuje lateral de tierras, por cargas muertas, cargas vivas y sísmicas.
5. **Calcular los máximos esfuerzos horizontales en cada capa de refuerzo.**
6. **Diseñar la separación vertical entre capas y las longitudes de desarrollo del geotextil para cada una de estas.**

### **3.4 Diseñar los sistemas de drenaje**

Se debe diseñar y construir sub-drenes para captar las aguas que por precipitación directa sobre la corona del muro afecten la premisa de diseño sobre la condición drenada del suelo reforzado.

Para asegurar la misma condición de la fundación, se proyectará un dren en la base del bloque. Las obras para drenar la masa reforzada se planeará según la información descrita por el método presentado.

Los sub-drenajes deberán ser construidos en los lugares indicados por el delegado residente.

La construcción de materiales empleados deben ajustarse a la sección 604 de las especificaciones DGC de 1975.



La pendiente mínima de los sub-drenajes debe de ser de 0.5 %.

Cuando se encuentren zonas impermeables al hacer la zanja, esta debe excavar a una profundidad mínima de un diámetro de la tubería usada en dicha zona, bajo la capa impermeable.

### **3.5 Verificar la estabilidad externa del muro**

1. Revisar la estabilidad al deslizamiento
2. Revisar capacidad portante.
3. Revisar la estabilidad al volcamiento
4. Revisar la estabilidad de la excavación para la construcción del muro.
5. Revisar la estabilidad total.

### **3.6 Estabilidad interna**

Para determinar este tipo de estabilidad dentro del muro es necesario cuantificar los valores correspondientes a los esfuerzos generados bajo la condición del empuje lateral activo. Este empuje total ( $E_t$ ) será la sumatoria del esfuerzo horizontal debido al suelo de relleno mismo ( $E_s$ ), la presión horizontal generado por las cargas muertas sobre el muro ( $E_p$ ) y los efectos de la aplicación de cargas vivas ( $E_v$ ).

**Calculo de Presiones:**

$$ES = K_a Yz$$

$$Eq = K_a q$$

$$Ev = P \times Zz / R^5$$

$$Et = Es + Eq + Ev$$

**Donde:**

**$K_a$  = coeficiente activo de presión de suelos**

$$K_a = \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$$

**Donde:**

**$\phi$  = ángulo de fricción interna del suelo de relleno**

**$Y$  = peso unitario del suelo de relleno**

**$Z$  = altura desde la superficie del suelo hasta la capa considerada**

**$q$  = peso unitario del suelo o del acopio ubicado sobre la corona del muro**

**$P$  = carga concentrada, puntual o longitudinal del muro**

**$X$  = distancia perpendicular horizontal desde el punto de aplicación de la carga ( $P$ ) hasta la cara del muro.**

**$R$  = distancia radial desde la aplicación de ( $P$ ) hasta el punto en donde se está analizando el efecto de esa carga.**

### **3.7 Estabilidad externa**

Este tipo de estabilidad en una estructura de retención se debe determinar según factores de seguridad que permiten un adecuado desempeño. Para ello se analizan los diferentes mecanismos de falla para ese tipo de obras.

En el análisis, se considera el volumen reforzado como un bloque rígido, para el que se determinara su condición de equilibrio.

Como punto de partida para establecer los valores de factores de seguridad, la Federal Highway Administration (FHWA) de Estados Unidos, y el National Highway Institute (NHI) del mismo país, proponen los siguientes valores luego de comprobaciones de campo en un gran número de proyectos ejecutados.

#### **3.7.1 Establecer los límites del diseño, alcance del proyecto y las cargas externas**

- 1. Determinar la altura máxima del muro, variaciones de alturas, sección transversal y longitud total.**
- 2. Verificar la inclinación de la cara del muro en relación con la horizontal**
- 3. Examinar las cargas externas y su ubicación.**
- 4. Presión lateral de tierras**
- 5. Sobrecarga uniforme**

6. Sobrecargas concentradas,  $F_v$ ,  $F_h$ .
7. Cargas vivas,
8. Cargas sísmicas
9. En el caso de existir un talud sobre el muro, determinar la inclinación con respecto a la horizontal y definirlo como una sobrecarga.
10. Para proteger el muro de la acción ambiental (radiación ultravioleta) de actos vandálicos o de la posible acción de roedores, este se deberá cubrir con elementos rígidos o flexibles, tales como:
  - a. *Mampostería*: se puede pensar en utilizar cualquier tipo de bloques para conformar la fachada, la cual no soportara ningún tipo de empuje horizontal originado por el muro reforzado con geotextil.
  - b. *Paneles de concreto*: Se deberá pensar durante el cálculo de la separación vertical, entre capas de refuerzo, la posición para la inclusión de las varillas de anclaje para los paneles.
  - c. *Recubrimiento en mortero o concreto lanzado o fundido in-situ*: para este tipo de acabados, se debe considerar la utilización de una malla de vena, colocada adecuadamente sobre la cara vertical del muro.

- d. *Para una inclinación de la cara del muro 70°*, esta se podrá cubrir con vegetación, colocándose como elemento de refuerzo para la vegetación a un geotextil de malla abierta.
11. **Drenaje:** para evitar ascensos de los niveles de agua, con las posteriores presiones hidrostáticas, se debe construir un drenaje en el contacto muro-ladera, este drenaje estará compuesto por un geotextil no tejido punzonado por aguja, que cumple la función de filtro y dentro del cual se colocará un material poroso que podrá ser gravas con granulometría entre ½” y 3”.
  12. **Lluvias, escorrentiíllas y aguas de infiltración:** se deben considerar además unos drenajes exteriores para evacuar el agua que por infiltración pueda llegar hasta la zona reforzada con geotextil
  13. **Tipo de agregado a utilizarse:** se recomienda como material de relleno aquel que posea un índice de plasticidad máxima de 20 y un contenido de finos  $\geq 50\%$ , evaluado en las deformaciones que se puedan presentar en el caso de utilizarse un material granular.

### **3.8 Determinar las propiedades del suelo base.**

- a. **Determinar los parámetros de resistencia  $C_u$ ,  $O C'$  y  $\phi$ .**
- b. **Determinar los pesos unitarios  $Y_t$ ,  $Y_d$  y las propiedades indice.**

**C. Localización del nivel freático.**

**3.9 Determinar las propiedades del suelo a usar en la construcción del muro y las del relleno de confinamiento**

Se debe conocer el índice de plasticidad, verificando si cumple con las especificaciones mínimas exigibles para los materiales de relleno.

**Tabla II. Materiales utilizados para terraplenes.**

<b>SUELOS APLICABLES</b>	<b>SELECCIONADOS CORONA, NÚCLEO, CIMENTO</b>	<b>ADECUADOS CORONA, NÚCLEO, CIMENTO</b>	<b>TOLERABLES NUCLEO, CIMENTO</b>
TAMAÑO MAXIMO	75 mm	100 mm	150 mm
PASA TAMÍZ No 200	25% EN PESO	35% EN PESO	35% EN PESO
C.B.R DE LABORATORIO	10	5	3
EXPANSIÓN EN PRUEBA	0%	2%	2%
C.B.R			
CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA	0% < 30	1% < 40	2% < 40
LIMITE LÍQUIDO	< 10	< 15	-
ÍNDICE DE PLASTICIDAD			

Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

Obtener la humedad optima  $W_{opt}$  y el  $Y_{dmax}$ , datos obtenidos de un ensayo próctor modificado.

Obtener el ángulo de fricción interno por medio de los ensayos de corte directo o de los triaxiales.

Establecer los factores de seguridad a usar durante el diseño

### 3.10 Cargas dinámicas

Dependiendo de las regulaciones locales para la construcción de este tipo de muros se deberán tener en cuenta las cargas dinámicas producidas por sismos que aumentan los esfuerzos horizontales que la masa del suelo reforzado deba asumir para mantener su integridad.

Se necesitara conocer la aceleración horizontal que el sismo de diseño llegaría a producir.

$$A_s = 0.1g - 0.2g$$

$W$  = peso de la masa de suelo en la zona activa.

$$W = \gamma (H^2) / 2 \tan ( 45- \phi/2 )$$

$A_s \cdot w$  = fuerza dinámica total.

$$E_h = 2 a_s W / H$$

### 3.11 Ejemplo de diseño

Se requiere construir una estructura en suelo reforzado, para obtener una superficie adicional y conformar la bancada de una vía de doble carril, que soportará tráfico pesado en los dos sentidos.

**Geometría del muro:**

**Altura máxima: 5.0 m**

**Longitud : 50.0 m**

**Inclinación de la cara: vertical**

**El suelo a utilizarse como material de relleno en la zona reforzada tiene las siguientes características y propiedades geomecánicas:**

$$\begin{aligned}c' &= 0.12 \text{ kg/cm}^2 \\ \phi' &= 28^\circ \\ LL &= 25 \\ LP &= 15 \\ \text{Pasa Tamiz 200} &= 35\% \\ \omega_n &= 75\% \\ \gamma_{d \max} &= 1.85 \text{ T/m}^3, \gamma_{T \max} = 2,15 \text{ T/m}^3 \\ \omega_{\text{opt}} &= 16\%\end{aligned}$$

**El suelo de la ladera que servirá al tiempo como fundación, tiene las siguientes características:**

$$\begin{aligned}C_u &= 0.5 \text{ kg/cm}^2 \\ LL &= 120 \\ LP &= 50 \\ \text{Pasa Tamiz 200} &= 95\% \\ \gamma_T &= 1.70 \text{ T/m}^3 \\ D_{85} &= 0.03 \text{ mm}\end{aligned}$$

**Se tiene además una estructura de pavimento con los siguientes espesores y sus respectivos pesos unitarios:**



Sub-base granular: 40 cms, 1.9 T/m<sup>2</sup>  
 Base granular: 20 cms, 2.0 T/m<sup>2</sup>  
 Carpeta asfáltica: 10 cms, 2.2 T/m<sup>2</sup>

Diseñar el muro estableciendo la separación vertical entre capas, las longitudes de desarrollo del geotextil y verificar su estabilidad externa.

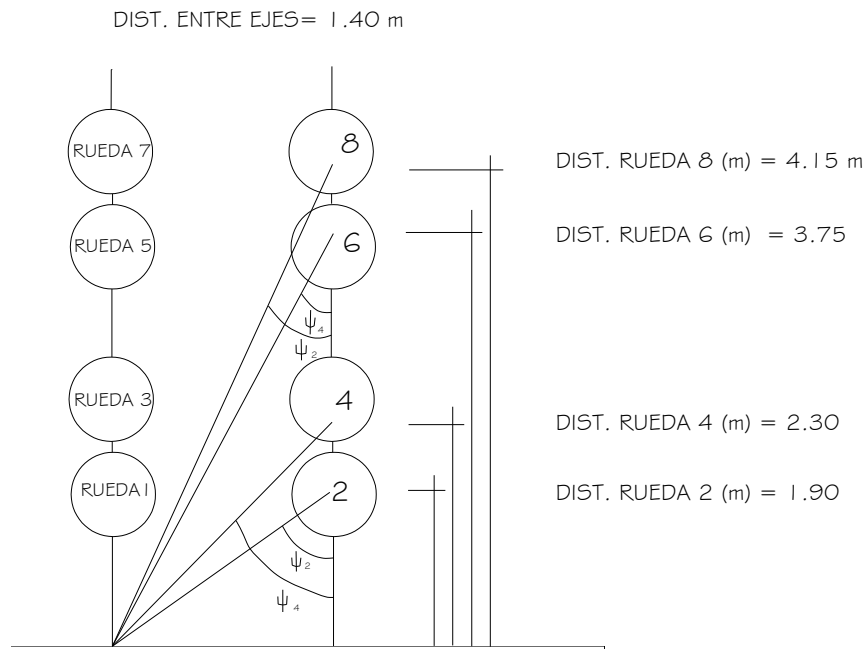
Solución:

Evaluación de cargas:

Sobrecargas uniformes:  $q = \sum(\gamma \cdot d)$

$$q = 0.4\text{m} \cdot 1.9\text{T/m}^3 + 0.2\text{m} \cdot 2.0\text{T/m}^3 + 0.1\text{m} \cdot 2.2\text{T/m}^3 = 1.38 \text{ T/m}^3$$

Figura 1. Cargas vivas



Fuente: Pavco Manual: Geosistemas

**Esquema eje Tandem para cálculo por cargas vivas. •Cargas sísmicas**

Dependiendo del sitio de la construcción del muro y con base en estudios de amenaza sísmica se obtienen los coeficientes de aceleración  $\alpha$  H. Para efectos prácticos se puede asumir  $\alpha$  H entre 0.1g y 0.2g.

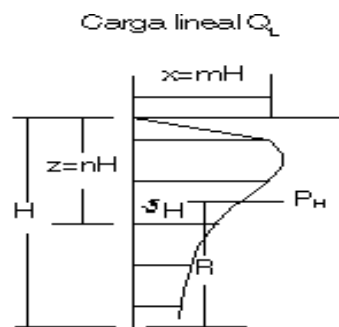
Seguido se procede a calcular el peso de la masa del suelo en el triángulo exterior a la superficie de falla y por último se calcula la fuerza dinámica horizontal como un porcentaje de este peso.

$$F_d = \alpha \cdot W$$

y el esfuerzo producido será:

$$\sigma_{hd} = 2 \cdot \alpha \cdot W / H \quad \text{Valor de } \sigma_H \left( \frac{H}{Q_L} \right)$$

**Figura 2. Carga lineal.**



Para  $m \leq 0.4$ :

$$\sigma_H \left( \frac{H}{Q_L} \right) = \frac{0.20n}{(0.16 + n^2)^2}$$

$$P_H = 0.55 Q_L$$

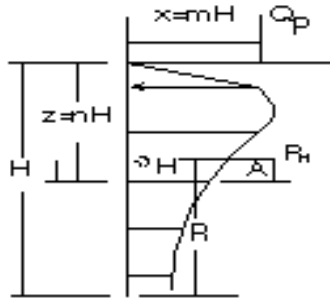
Para  $m > 0.4$ :

$$\sigma_H \left( \frac{H}{Q_L} \right) = \frac{1.28 m^2 n}{(m^2 + 1)^2}$$

$$\text{Resultante } P_H = \frac{0.64 Q_L}{(m^2 + 1)}$$

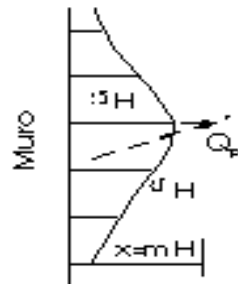
**Fuente: Pavco Manual: Geosistemas**

Carga lineal  $Q_p$



Para  $m \leq 0.4$ :

$$\sigma_H \left( \frac{H^2}{Q_p} \right) = \frac{0.28n^2}{(0.16 + n^2)^3}$$



Para  $m > 0.4$ :

$$\sigma_H \left( \frac{H^2}{Q_p} \right) = \frac{1.77 m^2 n^2}{(m^2 + n^2)^3}$$

$$\sigma_H = \sigma_H \cos^2 (1.10)$$

Dimensionamiento de la separación vertical entre capas de refuerzo Sv:

Se evalúan primero las presiones de tierra originadas por la presión del suelo, de las cargas, sobrecargas y las cargas vivas.

$$\begin{aligned} \sigma_{pt} &= K_a \cdot \gamma \cdot z \\ \sigma_{sc} &= K_a \cdot q \\ \sigma_{cv} &= P(x^2 z / R^5) \\ \sigma_h &= \sigma_{pt} + \sigma_{sc} + \sigma_{cv} \end{aligned}$$

donde:

$\sigma_{pt}$  = Presión debida al suelo

$K_a = \tan^2(45 - f/2)$  = coeficiente de presión activa

$\phi$  = Angulo de resistencia al corte del suelo de relleno en la zona reforzada

$\gamma$  = Peso unitario del suelo de relleno

$z$  = Profundidad desde la superficie hasta la capa en estudio

$\sigma_{sc}$  = Presión debida a sobrecargas

Tabla III. Presiones sobre el suelo originadas por cargas vivas.

		Rueda No.1				Rueda No.2	
$z$	$n=z/H$	$x$	$m=x/H$	$\sigma_H (H^2/Qp)$	$\sigma_H$	$\sigma'H$	
0	0.000	19	0.360	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.200	19	0.360	1.400	0.128	0.075	
2	0.400	19	0.360	1.357	0.125	0.073	
3	0.600	19	0.360	0.717	0.065	0.038	
4	0.800	19	0.360	0.390	0.032	0.019	
5	1000	19	0.360	0.179	0.015	0.010	

		Rueda No.3				Rueda No.4	
$z$	$n=z/H$	$x$	$m=x/H$	$\sigma_H (H^2/Qp)$	$\sigma_H$	$\sigma'H$	
0	0.000	2.3	0.460	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.200	2.3	0.460	0.941	0.086	0.058	
2	0.400	2.3	0.460	1.168	0.107	0.072	
3	0.600	2.3	0.460	0.722	0.088	0.045	
4	0.800	2.3	0.460	0.388	0.035	0.024	
5	1000	2.3	0.460	0.211	0.019	0.013	

Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

$q = \gamma * D$  = Sobrecargas en la superficie superior, en la cual  $g$  = peso unitario de la sobrecarga

$D$  = Profundidad del suelo de sobrecarga

$\sigma_{cv}$  = Presión debida a las cargas vivas

$P$  = Cargas concentradas

$x$  = Distancia horizontal entre la carga y la cara vertical del muro

$R$  = Distancia radial entre el punto de carga sobre el muro, donde la presión está siendo calculada.

Al determinar cada una de estas presiones, se hace su sumatoria, teniendo en cuenta que esta se realiza en la profundidad correspondiente a cada una de las capas de refuerzo.

Al hacer un diagrama de cuerpo libre en el diagrama de presiones laterales totales y sumando las fuerzas en la dirección horizontal, se obtiene la siguiente ecuación, para calcular la separación vertical entre las capas de refuerzo.

$$S_v = T_{adm} / (\sigma_h * FS)$$

donde:

$S_v$  = Separación vertical (Espesor de cada capa)

$T_{adm}$  = Esfuerzo admisible en el textil, calculado según ecuación.....

$\sigma_h$  = la presión lateral total en la profundidad total

$FS$  = Factor de seguridad global (usar 1.3 a 1.5) s

Cálculo de las longitudes de desarrollo del geotextil.

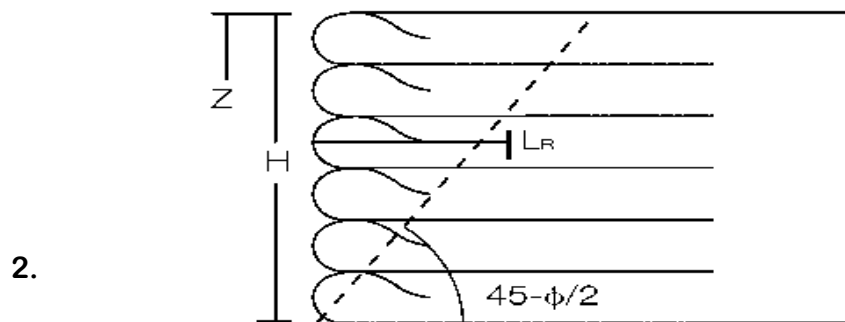
Estas se componen por tres longitudes, que sumadas dan la longitud total a utilizarse por capa en la sección transversal del muro.

1. Longitud geométrica hasta la zona de falla,  $L_R$ .

$$\tan (45-\phi/2) = L_R/(H-z)$$

$$L_R = (H- z)*\tan(45-\phi/2) \quad (11)$$

Figura 3. Longitud geométrica hasta la zona de falla.



Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

Longitud de empotramiento,  $L_e$ .

Esta corresponde a la superficie de empotramiento por detrás de la zona de falla, donde debido a la interacción de suelo-geotextil se desarrollan las fuerzas resistentes.

Haciendo sumatoria de fuerzas en X:  $\Sigma F_x$ , se obtiene:

$$\begin{aligned}\sigma_h * S_v * F.S &= 2 * F_{za. corte} \\ F_{za. corte} &= \tau * L_e \\ \tau &= c + \sigma * \tan \delta \\ L_e &= \sigma_h * S_v * F.S / (2 * (c + \sigma * \tan \delta)) \\ 0.75\phi &\leq \delta \leq 0.85\phi\end{aligned}$$

Donde  $\delta$  es el ángulo de fricción entre el suelo y el geotextil

3. Longitud del dobléz superior,  $L_o$ : Para efectos prácticos asumirla siempre igual a 1.0 metro.

La longitud total a usarse para cada capa de geotextil será:

$$L_t = L_R + L_e + L_o + S_v \quad (16)$$

que finalmente podrá ser acomodada a una medida constructiva que corresponda a múltiplos de 0.50 m.

## ANALISIS DE ESTABILIDAD INTERNA

### Datos del suelo

$$c \text{ (T/m}^2\text{)} = 1.2$$

$$\phi = 28.00^\circ$$

$$\gamma_t \text{ (T/m}^3\text{)} = 1.76$$

$$\gamma_d \text{ (T/m}^3\text{)} = 1.85$$

### Datos del geotextil

#### Resistencia a la Tensión

Tira Ancha = 35 kN/m

$$\delta = 22.50^\circ$$

$$\tan \delta = 0.41$$

### Factores de Reducción

$$FR_{DI} = 1.2$$

$$FR_{FL} = 2.2$$

$$FR_{DQ} = 1.1$$

$$FR_{DB} = 1.1$$

### Factor de Seguridad Global

$$FS = 1.3$$

### Datos del Muro

$$\text{Sobrecargas (T/m}^2\text{)} = 1.38$$

$$\text{alt. max (m)} = 5.0$$

$$\text{base (m)} = 3.5$$

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) = 0.361$$

$$\sigma_h = K_a * \mu * z + K_a * q = 0.635 * z + 0.498$$

$$T_{adm} = T_{ut} [1 / (FR_{DI} * FR_{FL} * FR_{DQ} * FR_{DB})] = 1.118 \text{ T/m}$$

Como ilustración para una profundidad,  $z$  (m) = 2.00

Se tiene un esfuerzo originado por cargas vehiculares.



$$\Sigma(\sigma_h + \sigma'_h), (T/m^2) = 0.503$$

Obteniéndose una separación vertical para esta capa de:

$$S_v (m) = T_{adm} / (\sigma_h * FS) = \frac{1.118}{1.138 * 2 + 0.498} = 0.310$$

En la capa 15 de la tabla 2, se observa como el  $S_v$  corresponde a 30 cms, para una profundidad,  $Z = 2.00$  m.

Tabla IV. Capas según la profundidad.

CAPA No	Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	L a(m)	L a min (m)	La (m)	L (m)	Lc (m)	Lc (m) (m)	L a usar
20	0.400	0.40	0.375	0.900	2.754	3.664	1.0	5.064	5.0
19	0.800	0.40	0.313	0.900	2.524	3.424	1.0	4.824	5.0
18	1.100	0.30	0.279	0.900	2.343	3.243	1.0	4.543	4.5
17	1.400	0.30	0.252	0.900	2.163	3.063	1.0	4.363	4.5
16	1.700	0.30	0.229	0.900	1.983	2.663	1.0	4.183	4.5
15	2.000	0.30	0.21	0.900	1.603	2.703	1.0	4.003	4.0
14	2.250	0.25	0.197	0.900	1.652	2.552	1.0	3.802	4.0
13	2.250	0.25	0.165	0.900	1.502	2.402	1.0	3.652	4.0
12	2.750	0.25	0.174	0.900	1.352	2.252	1.0	3.502	3.5
11	3.000	0.25	0.165	0.900	1.202	2.102	1.0	3.352	3.5
10	3.200	0.20	0.158	0.900	1.082	1.982	1.0	3.182	3.5
9	3.400	0.20	0.152	0.900	0.961	1.661	1.0	3.061	3.0
8	3.600	0.20	0.146	0.900	0.841	1.741	1.0	2.941	3.0
7	3.800	0.20	0.141	0.900	0.721	1.621	1.0	2.821	3.0
6	4.000	0.20	0.136	0.900	0.601	1.501	1.0	2.701	3.0
5	4.200	0.20	0.131	0.900	0.481	1.381	1.0	2.581	3.0
4	4.400	0.20	0.127	0.900	0.361	1.261	1.0	2.461	2.5
3	4.600	0.20	0.123	0.900	0.240	1.140	1.0	2.34	2.5
2	4.800	0.20	0.119	0.900	0.120	1.020	1.0	2.22	2.5
1	5.000	0.20	0.115	0.900	0.000	0.900	1.0	2.1	2.5

Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

### 3.12 Análisis de estabilidad externa

1. Estabilidad de deslizamiento. Se debe verificar que las fuerzas horizontales externas no vayan a originar un desplazamiento al muro.

$$F.S. = \frac{\Sigma \text{Fzas. Horizontales Resistentes}}{\Sigma \text{Fzas. Horizontales Actuantes}}$$

La fuerza horizontal resistente es la fuerza cortante producida por la interacción entre el suelo de fundación y geotextil en la zona reforzada, y el suelo de fundación con el de relleno en la zona donde no hay refuerzo.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (18)$$

$$\text{Fza. cortante} = \tau * L$$

$$\sigma_v = 0.1 \text{ m} * 2.2 \text{ T/m}^3 + 0.2 \text{ m} * 2.0 \text{ T/m}^3 + 0.4 \text{ m} *$$

$$1.9 \text{ T/m}^3 + 5.0 \text{ m} * 1.76 \text{ T/m}^3 = 10.18 \text{ T/m}^2$$

$$\tau_1 = 1.2 \text{ T/m}^2 + 10.18 \text{ T/m}^2 * \tan 26.6^\circ = 6.3 \text{ T/m}^2$$

$$\tau^2 = 1.2 \text{ T/m}^2 + 10.18 \text{ T/m}^2 * \tan 28^\circ = 6.6 \text{ T/m}^2$$

$$\text{Fza. cortante} = \tau_1 * L_1 + \tau^2 * L^2 = 6.3 \text{ T/m}^2 * 0.9 \text{ m} +$$

$$6.6 \text{ T/m}^2 * 2.6 \text{ m} = 22.8 \text{ T/m}$$

## Determinación de fuerzas horizontales actuantes:

### 1.1 relleno de confinamiento.

$$P_a = \gamma * H^2 * \frac{K_a}{2} = 1.76 \text{ T/m}^3 * 5^2 \text{ m}^2 * \frac{0.36}{2} = 7.92 \text{ T/m} \quad (19)$$

### 1.2 sobrecarga

$$P_{sc} = q * K_a * H = 1.38 \text{ T/m}^2 * 0.36 * 5.0 \text{ m} = 2.48 \text{ T/m} \quad (20)$$

### 1.3 cargas vivas

$$P_{cv} \left( \frac{H}{Q_p} \right) = 0.75$$

$$P_{cv} = 0.75 * \frac{Q_p}{H} = 0.75 * \frac{2.28 \text{ T}}{5 \text{ m}} = 0.34 \text{ T/m}$$

$$F.S. = \frac{22.8}{(7.92+2.48+0.34)} = \frac{22.8}{10.74} = 2.1 \geq 1.5$$

Estabilidad al volcamiento. Se debe revisar que el momento producido por las fuerzas horizontales actuantes, comparadas con los momentos resistentes no vayan a ocasionar un volcamiento del muro. El análisis se hace tomando momentos en relación con el extremo inferior izquierdo de la sección transversal del muro.

Determinación de momentos resistentes:

1.4 momentos generados por la sobrecarga.

$$M_{sc} = q * L * L/2 = 1.38 \text{ T/m}^2 * 3.5 \text{ m} * 1.75 \text{ m} * 1\text{m} = 8.45 \text{ T*m} \quad (22)$$

1.5 momentos generado por el propio peso del muro.

$$M_{pm} = H * L * g * L/2 = 5.0 \text{ m} * 3.5 \text{ m} * 1.76 \text{ T/m}^3 * 1.75 \text{ m} * 1.0\text{m} = 53.9 \text{ T*m} \quad (23)$$

Determinación de los momentos actuantes:

- momento generado por la presión lateral de tierras

$$M_{pt} = \frac{1}{3} * H * P_s = \frac{1}{3} * 5 \text{ m} * 7.92 \text{ T} = 13.2 \text{ T*m} \quad (24)$$

- momento generado por la sobrecarga

$$F.S. = \frac{(8.45+53.9)}{(13.2+6.2+0.94)} = \frac{62.35}{20.34} = 3.1 \geq 2.0$$

- momento generado por las cargas vivas

$$M_{CV} = 0.55 * H * P_{CV} = 0.55 * 5 \text{ m} * 0.34 \text{ T} = 0.94 \text{ T*m}$$

2. Capacidad Portante. Se revisa que la capacidad portante del terreno sea suficientemente competente para soportar las cargas producidas por la construcción del muro. Un muro de suelo reforzado se asemeja a un cimiento continuo.

$$\sigma_{ult} = cN_c + qN_q + 1/2 \gamma B N_\gamma$$

La ecuación de capacidad por tanto en términos de las resistencia al corte de drenada ( $c_u, \phi = 0$ ), es la siguiente.

$$\begin{aligned} \sigma_{ult} &= c_u * N_c \\ N_c &= (\pi + 2) = 5.14 \end{aligned}$$

$$\sigma_{ult} = c_u * N_c = 6 \text{ T/m}^2 * 5.14 = 30.84 \text{ T/m}^2$$

$$\sigma_{aplicado} = 10.18 \text{ T/m}^2$$

### 3.13 EJEMPLO

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ENCINOS DE MUXBAL  
Ubicación: San Jorge Muxbal, Municipio de Santa Catarina Pinula,  
Depto. de Guatemala  
Cliente: Grupo Edifika

#### GEOSINTETICOS UTILIZADOS

Los Geosintéticos utilizados a lo largo del proyecto son los siguientes:

Item	Geosintético	Función	Unidad	Cantidad
1	Geotextil Tejido T 2400	Refuerzo	m <sup>2</sup>	11,165.00
2	Geodrén Planar STD de 2.00 mts	Filtración	ml	200.00
3	Manto de Control de Erosión	Control de Erosión	m <sup>2</sup>	6,144.00

#### DESCRIPCION GENERAL Y PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO

El Proyecto corresponde a un Fraccionamiento Residencial de Clase Media Alta, ubicado en una zona boscosa con una humedad imperante durante la mayor parte del año. El desarrollo de los lotes es sobre una loma de montaña y la parte superior de la ladera de ésta, debido a ello, el cliente buscó una solución de contención, ya que en la parte inferior pasa hay una calle y se necesita ofrecerle a los compradores áreas de jardín a nivel dentro de las propiedades. El suelo del lugar es un limo arenoso con una capa gruesa de suelos orgánicos arcillosos, muy aptos a la vegetación.

## **APLICACIÓN IMPLEMENTADA, VENTAJAS Y BENEFICIOS**

Dentro de la gama de soluciones de contención analizada por el cliente, prevaleció la solución planteada por nuestra empresa la cual consiste en la construcción de Nueve Muros de Contención con el sistema de envolturas de diferente alturas que van de los 2.50 m hasta 7.4

Dentro de las posibles soluciones de contención consideradas por los desarrolladores, se adopta la de Muros en Suelo Reforzado con Geotextiles Tejidos, por sé la solución amigable con el ambiente que les permite utilizar el suelo del lugar, producto del corte de calles y plataformas. Para el efecto, se adopta la metodología de diseño de Muros en Suelo Reforzado de la National Concrete Masonry Association – NCMA – (*Refs. 1 y 2*), así mismo, se consideran las limitaciones de espacio existentes debido a que las Residencias ya se encontraban en proceso de construcción. Adicionalmente, es imperativo considerar la alta sismicidad de la zona, ya que esta región está próxima con las fallas geológicas de San Rafael al nor-poniente y de Santa Catarina Pinula al sur-oriente del sitio de obra.

Para los desarrolladores del proyecto, el uso de Muros en Suelo Reforzado con Geotextiles Tejidos , les permitiría construir las estructuras de retención paralelamente a la construcción de las Residencias, y mejor aún, ésta construcción se debería realizar durante la época de invierno, lo cual no sería factible con estructuras tradicionales de contención, y por si esto fuera poco, el impacto económico de la solución, les permite hacer frente a trabajos no considerados en la planificación original del Proyecto.

Lo anterior denota la importancia que tiene este tipo de estructuras de retención con el uso de Geosintéticos, que logra satisfacer las necesidades de espacio de hoy en día, aunado al menor impacto económico que se logra versus las soluciones tradicionales y aún, con soluciones similares de bloques segmentados.

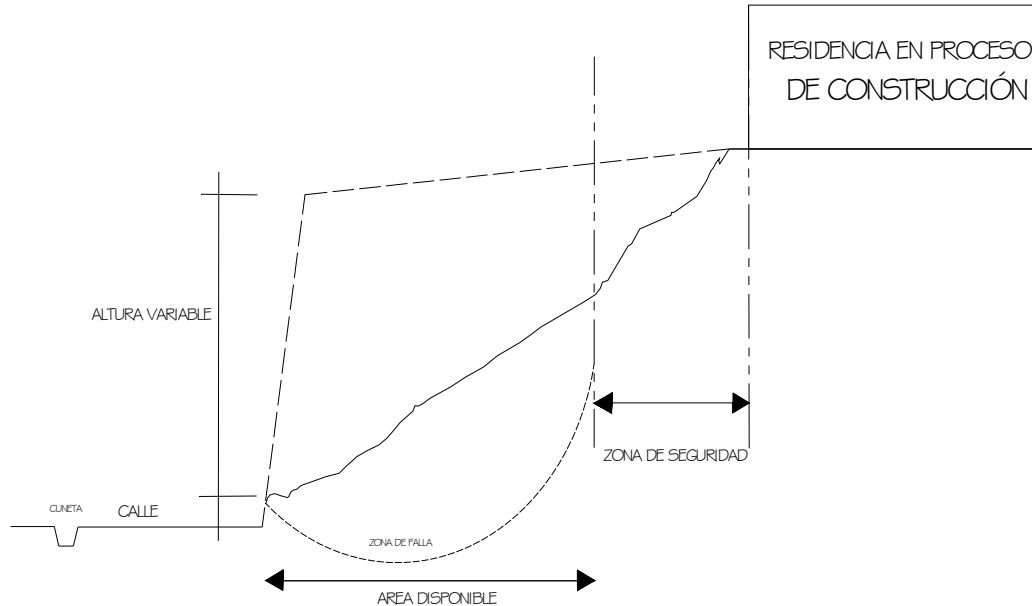
## **MUROS EN SUELO REFORZADO CON GEOTEXILES TEJIDOS**

Se necesita construir estructuras de contención para crear áreas de jardín con poca inclinación, no más de 5° respecto la horizontal. La diferencia de nivel entre el límite extremo del lote y el nivel mínimo del jardín a considerar es variable, desde los 2.50 m hasta 9.40 m, para los lotes designados en el proyecto como 2, 4, 6 y 8 que requieren la solución.

Las estructuras de contención que se adopten, no forman parte de la planificación original, su necesidad es el resultado de la labor de mercadeo y ventas de las residencias, ya que los probables compradores han solicitado áreas prácticamente planas de jardín, sin ello, las posibilidades de abstenerse de comprar son muy elevadas. Desafortunadamente, esta necesidad no contemplada originalmente, implica la existencia de una zona de seguridad que no debe ser removida por ningún motivo, debido a que expondría a las viviendas en proceso de construcción, a posibles fallas o asentamientos a nivel de cimentación por causa de la pendiente natural del terreno, ver esquema a continuación:



**Figura 4: Esquema típico para el análisis de Soluciones de Contención**



**Esquema típico para el análisis de Soluciones de Contención**

## **ALTERNATIVAS DE SOLUCION CONSIDERADAS**

Los desarrolladores del proyecto, conjuntamente con el contratista, consideraron varias opciones para las estructuras de contención necesarias en el proyecto, de conformidad con las exigencias de los posibles clientes, siendo éstas las siguientes:

- Estructuras de Contención tradicionales de Concreto Reforzado
- Estructuras de Contención tradicionales de Mampostería Reforzada
- Muros en Suelo Reforzado con fachada de bloques segmentados.
- Muros en Suelo Reforzado con Geomallas Uniaxiales
- Muros en Suelo Reforzado con Geotextiles Tejidos

Las dos primeras opciones se descartaron por dos razones fundamentales, la primera relacionada con lo poco o nada amigables al entorno ambiental del proyecto, puesto que la ubicación del proyecto dentro del terreno respecto la carretera de acceso, denotaría demasiado su forma y textura. La segunda razón se relaciona con el impacto económico dentro del valor del proyecto, el cual causaría grandes inconvenientes en cuanto a la venta de las Residencias, incrementando en demasía el valor de mercado. Por lo tanto, la posible opción se encontraba en los Muros en Suelo Reforzado.

La opción de Muro en Suelo Reforzado con fachada de bloques segmentados, luego de un análisis profundo por los desarrolladores, se consideró que tiene las mismas objeciones que las Estructuras de Contención tradicionales, aunque con un costo menor a éstas. De esta cuenta, la decisión fue la de Muros en Suelo Reforzado con Geomallas Uniaxiales, por varias razones, la primera relacionada con el carácter ambiental que se necesita para el Proyecto, al ofrecer la fachada verde; la segunda, su menor impacto económico respecto las soluciones anteriores y la tercera, por la cercanía al Proyecto de un Muro en Suelo Reforzado con Geomallas Uniaxiales con una edad de cinco años y que se encuentra en perfectas condiciones.

**Suelo a utilizarce:**

$$C' = 0.11 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi = 22 \text{ grados}$$

**Tamiz= pasa 200 (40%)**

$$W_n = 75\%$$

$$Y_{dmax} = 1.85$$

$$W_{dp'} = 16\%$$

**En esta etapa se logró que se considerara la opción de hacer el Muro en Suelo Reforzado con Geotextiles Tejidos, demostrándoles las ventajas y beneficios para el Proyecto su incorporación, por su bajo costo, aún menor al de**

**Longitud de Empotramiento:**

$$L_e = \frac{V_h \cdot S_v \cdot FS}{2 \cdot 12(C + V \cdot \tan \alpha)}$$

$$0.78 \phi \leq a \leq 0.88 \phi$$

**Longitud total para cada capa de geotextil:**

$$L_t = L_r + L_e + L_o + S_v = 0.45 \text{ m}$$

### Estabilidad interna

#### Datos del suelo

$$c \text{ (T/m}^2\text{)} = 1.1$$

$$\phi = 22.00^\circ$$

$$\gamma_t \text{ (T/m}^3\text{)} = 1.76$$

$$\gamma_d \text{ (T/m}^3\text{)} = 1.85$$

#### Datos del geotextil

Resistencia a  
la Tensión  
Tira Ancha = 35  
kN/m

### Estabilidad externa

Estabilidad de  
deslizamiento. Se  
debe verificar que  
las fuerzas  
horizontales  
externas no vayan a  
originar un  
desplazamiento al  
muro.

La fuerza  
horizontal  
resistente es la  
fuerza cortante

producida por la  
interacción entre el  
suelo de fundación  
y geotextil en la  
zona reforzada, y el  
suelo de fundación  
con el de relleno en  
la zona donde no  
hay refuerzo.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (18)$$
$$\text{Fza. cortante} = \tau * L$$

$$\sigma_v = 0.1 \text{ m} * 2.2 \text{ T/m}^3$$
$$+ 0.2 \text{ m} * 2.0 \text{ T/m}^3 +$$
$$0.4 \text{ m} *$$

$$1.9 \text{ T/m}^3 + 5.0 \text{ m} *$$
$$1.76 \text{ T/m}^3 = 10.18$$
$$\text{T/m}^2$$

$$\tau_r = 1.2 \text{ T/m}^2 +$$
$$10.18 \text{ T/m}^2 * \tan$$
$$26.6^\circ = 6.3 \text{ T/m}^2$$

$\tau$

$$\tau^2 = 1.2 \text{ T/m}^2 + 10.18$$
$$\text{T/m}^2 * \tan 22^\circ = 6.6$$
$$\text{T/m}^2$$

$$\text{Fza. cortante} = \tau_1^*$$
$$L_1 + \tau^2 * L^2 = 6.3 \text{ T/m}^2$$
$$* 0.9 \text{ m} +$$

$$6.6 \text{ T/m}^2 * 2.6 \text{ m} =$$
$$20.5 \text{ T/}$$

Momentos generados por la sobrecarga.

$$M_{sc} = q * L * L/2 = 0 \text{ T/m}^2 * 0 \text{ m} * 0 \text{ m} * 1 \text{ m} = 0 \text{ T*m}$$

**Geomallas Uniaxiales, su rapidez de construcción, su fachada verde y la mayor ventaja por sobre el Muro en Suelo Reforzado con Geomallas Uniaxiales, de poder utilizar para el relleno, el suelo del lugar versus importar material de préstamo debidamente seleccionado. Sin duda alguna, la decisión final fue la construcción de los Muros en Suelo Reforzado con Geotextiles Tejidos.**

**Fotografía 1: Espacio en muro terminado.**



**Fotografía 2: Muro en Suelo Reforzado existente en la zona del Proyecto**



**Fotografía 3: Proceso de Construcción durante la primera semana de trabajo**



**Fotografía 4: Vista muro terminado**



**Fotografía 5: Proceso de Construcción un mes después de iniciados los trabajos**



**Fotografía 6: Proceso de Construcción finalizado e incorporado a la Residencia**



## **DISEÑO**

En la exposición de los antecedentes del Proyecto, se indica acerca de la restricción de espacio por la construcción avanzada de las viviendas (figuras 3 y 4), esto causó una restricción al diseño de los Muros en Suelo Reforzado con Geotextiles Tejidos, debido a que no se contó con el espacio suficiente para el desarrollo del Geotextil Tejido de Refuerzo, sin embargo, se buscó una solución que permitiera manejar en el futuro en entorno ecológico y que no pusiera en peligro la estabilidad de las estructuras en construcción al tener que hacer cortes en el talud natural.



**Esta solución consiste en Muros de Contención de Mampostería Reforzada con alturas expuestas no mayores a dos metros, cuya fachada quedará cubierta con la misma vegetación a colocar en las caras de los Muros en Suelo Reforzado, con ello se logra no alterar el talud natural en la zona de desplante y por consiguiente un ahorro en el movimiento de tierras de la Obra, y además, da la oportunidad de desarrollar adecuadamente el refuerzo del Geotextil Tejido en los Muros de Suelo Reforzado.**

**Esta restricción se da en los vértices del Proyecto que colindan con la calle de acceso ubicados en los lotes 4 y 8 del Fraccionamiento Residencial, en el resto de la longitud se logra desplantar sobre el terreno natural sin ningún problema de espacio para el desarrollo del refuerzo con el Geotextil Tejido.**

**Combinación de Muro en Suelo Reforzado con Soluciones tradicionales de Contención**

**Fotografía 7: Vista lateral del muro terminado**



A continuación se presenta la distribución en planta de los diferentes Muros en Suelo Reforzado considerados y la sección de diseño A-A', típica para las otras alturas.

Figura 5: Planta de lotes

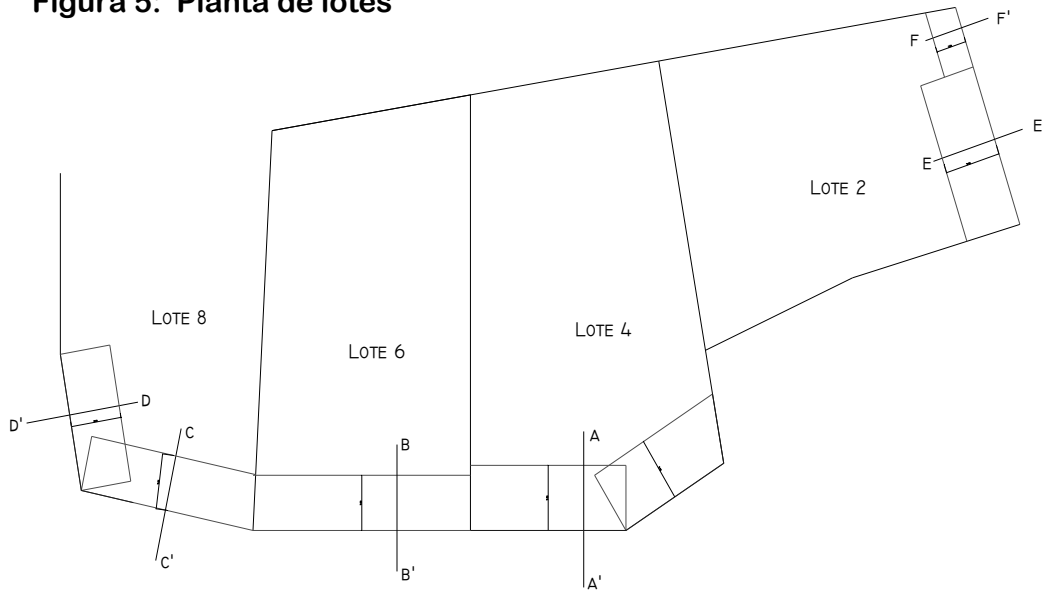
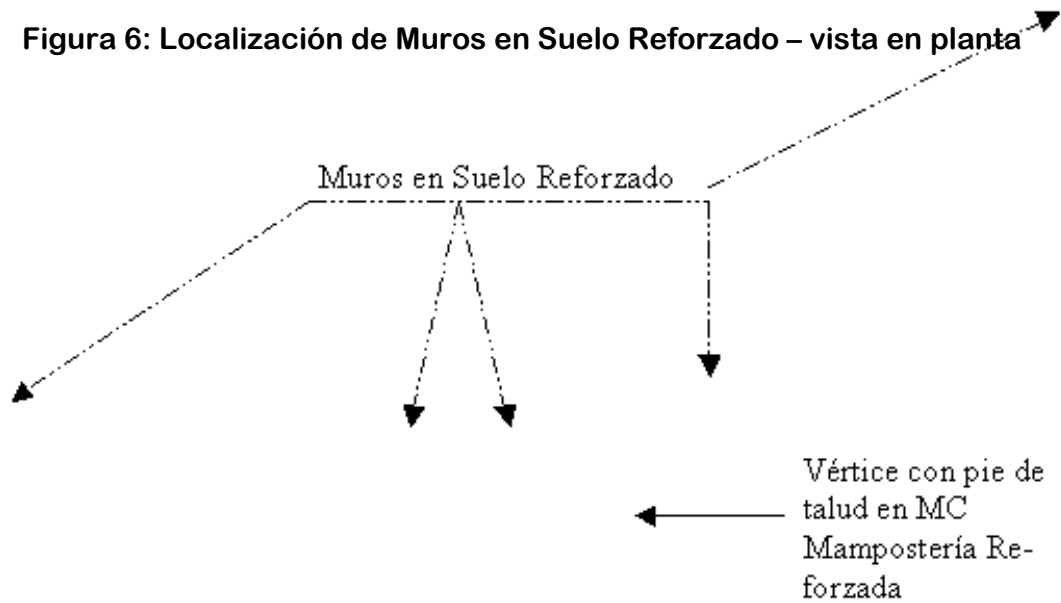
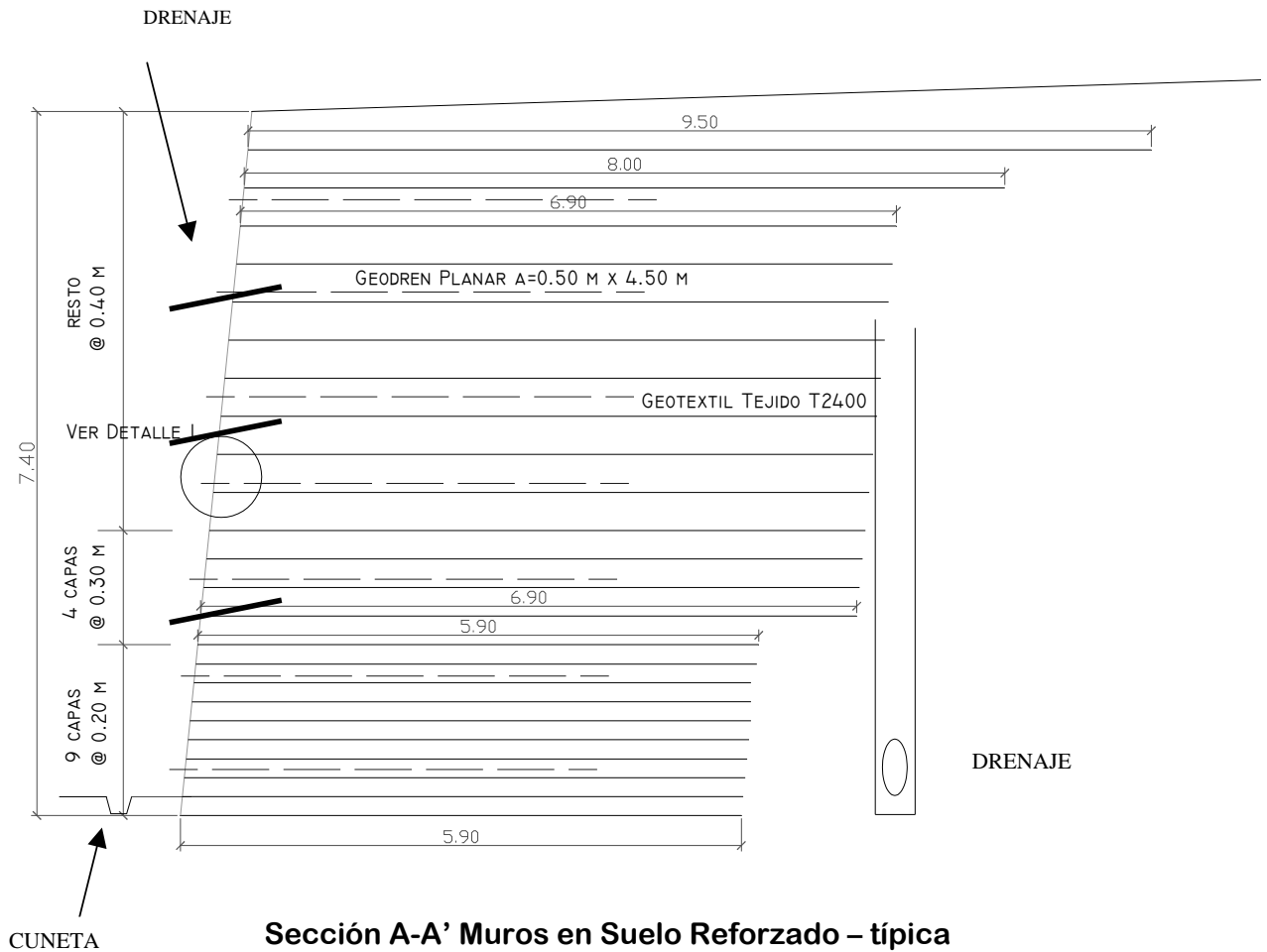


Figura 6: Localización de Muros en Suelo Reforzado – vista en planta



**Figura 7: Sección A-A' Muros en Suelo Reforzado – típica**



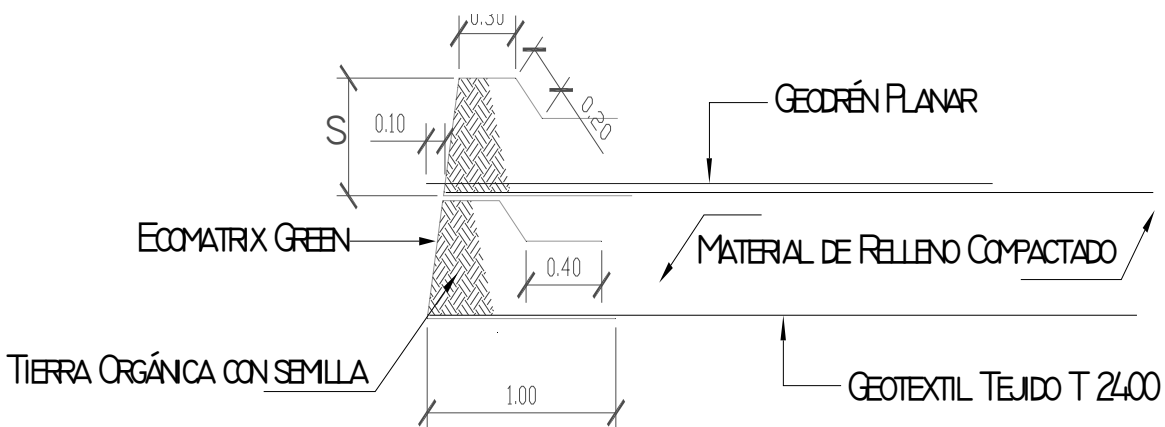
La propuesta de escalonar el refuerzo de Geotextil Tejido en las diferentes secciones de diseño, se debe a las siguientes razones:

- Un mejor manejo de la estabilidad global del sistema debido a la topografía al pie del talud, incluso en aquellas zonas en que el pie de talud está formado por muros de contención de mampostería reforzada.

- Al utilizar la metodología de diseño de la NCMA, se requiere de mayor longitud de anclaje en la zona superior de refuerzo del Muro en Suelo Reforzado, para evitar fallas por extracción (pull-out)
- Adicionalmente a las consideraciones de estabilidad global e interna, el escalonamiento del refuerzo también nos ayuda a que el Contratista engrape adecuadamente el relleno estructural con el talud natural, así de esta manera, evitar potenciales zonas de deslizamiento en la unión de ambos suelos

Para la conformación de la fachada de los Muros en Suelo Reforzado se propuso el uso del Geotextil de Tejido abierto Ecomatrix Green, combinándolo con el uso del Geotextil Tejido T2400, ver detalle a continuación:

Figura 8: Detalle de Envoltura con Ecomatrix Green



S = ESPESOR DE CAPA SEGÚN DISEÑO

**Fotografía 8: Vista de las envolturas con Ecomatrix Green**



**Vista de las envolturas con Ecomatrix Green**



## **4. DRENAJES DE TALUD**

### **4.1 Colocación según su tipo**

Como las condiciones de diseño involucran una condición drenada del suelo, se deben proyectar estructuras de captación de aguas como las siguientes:

Drenajes Franceses recubiertos con geotextiles no tejidos. Estas estructuras de drenaje se dividen en dos grupos según su objetivo; capas de intersección de la escorrentía o precipitación directa que ubicadas en la parte superior del muro, recolecten las aguas, aprovechando la conducción planar del geotextil, para entregar este volumen a un colector que pudiera ser un drenaje francés. También podrán ubicarse capas de geotextiles no tejidos en el cimientto o en el contacto del relleno reforzado y el volumen a contener, con el fin de interceptar aguas freáticas o de escorrentías sub-superficial.

También se pueden colocar drenajes tipo francés recubiertos con geotextil no tejido para captar y abatir los niveles freáticos presentes. Usualmente estas estructuras se proyectan en la parte superior del volumen reforzado y en especial cuando se ha diseñado una vía o espacio plano donde sea necesario drenar las aguas de lluvia. Cuando por condiciones de terreno se prevean aportes freáticos, también se deben ubicar estas estructuras en el cimientto del muro con un descole fuera del volumen reforzado para garantizar el correcto drenaje y prevenir fenómenos erosivos, lo mismo se aplica

para toda captación que diseñe en cuanto a manejo de aguas se refiera.

Para ayudar a mantener en condición drenada la masa del suelo, se deben proyectar unos drenajes horizontales que interceptan las aguas que se encuentren en el volumen reforzado. Estos drenajes podrán ser tubos perforados o pequeños drenajes franceses con una sección aproximada de 6 cm. Que estarían ubicados perpendicularmente a la cara del muro, entregando sus aguas al exterior en escurrimiento libre sobre la cara del muro, teniendo en cuenta no propiciar con ello erosiones localizadas .

#### **4.2 Terminación en cara expuesta**

Para el acabado final de la cara expuesta del muro, se deberá adoptar algún recubrimiento esta condición depende los requisitos de servicio del diseño arquitectónico y de los agentes a los que estará expuesto el geotextil. De esta forma se podrán proyectar recubrimientos como mantos vegetales, muros en mampostería, concreto lanzado, paneles de concreto prefabricado, revoques con mortero de diferentes texturas y cualquier otro tipo de acabado que el diseñador pueda realizar según las condiciones geométricas de la obra y de la disponibilidad de materiales. Este tipo de protección tendrán que realizarse como parte del proceso constructivo y tenerse como parte fundamental en la ejecución de obras con suelos reforzados. A continuación diagramas con tipos con tipos de recubrimientos.



## **5. MODELO**

### **5.1 Proceso de construcción**

Este proceso se describe de una mejor forma con sus respectivos diagramas en donde aparecen los elementos necesarios para colocar cada una de las capas que constituyen el muro de contención.

La velocidad en la ejecución de este tipo de muro depende equitativamente del equipo que se emplee, tanto para mover los materiales como para compactarlos.

De acuerdo al método presentado, la estructura es autoportante y no necesita apoyarse o construir formaletas generales, simplemente utilizado la necesaria para ejecutar una capa del relleno y que se reutiliza para ejecutar toda la obra.

Este proceso constructivo se puede resumir en los siguientes pasos:

#### **PASO 1**

### **5.2 Preparación del nivel de cimentación**

Teniendo la seguridad de la correcta colocación de las cotas y las condiciones geotécnicas del suelo de cimentación previsto por el estudio correspondiente. Dentro de esta actividad se encuentran las

correspondientes a las obras de drenaje que estén previstas y las que sean necesarias para verificar las premisas del diseño. También deberán tomarse en cuenta las actividades de preparación de la superficie de contacto del suelo reforzado y de la cimentación.

## **PASO 2**

### **5.3 Colocación de la primera capa de geotextil**

Con la correcta alineación y dejando libre la longitud correspondiente a desarrollar la altura y el anclaje de la capa en consideración. La formaleta a utilizar dará la correcta colocación y arranque del proyecto, razón por la cual se deberá tener mucho cuidado en la elaboración de la misma.

## **PASO 3**

### **5.4 Colocación del suelo**

El suelo que se ha de colocar será seleccionado para conformar el volumen reforzado en espesores determinados para obtener el máximo de densidad según el contenido de humedad y equipo de compactación a usar. Colocada la mitad del espesor se doblara la cara de la capa en cuestión.

## **PASO 4**

### **5.5 Remoción de formaleta**

Una vez ubicado el material en su lugar y compactado, se remueve la formaleta para ser de nuevo colocada en la posición correcta según la geometría de diseño, y proceder de igual forma hasta completar la altura del muro.



## **6. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**

### **6.1 Preparación de la fundación**

- 1. Excavar de 30 a 60 cms por debajo del nivel inicial de la primera capa del muro. Si el suelo de fundación es competente no es necesario lo anterior.**
- 2. Rellenar con material granular seleccionado. Compactar y nivelar.**

### **6.2 Construcción del sistema de drenaje**

- 1. El sistema de drenaje compuesto por un medio filtrante (geotextil no tejido punzonado por agujas), uno drenante (material granular o geored) y como elemento de evacuación una tubería perforada con un diámetro mínimo de 4". Se construye un manto drenante por debajo de la primera capa de refuerzo con geotextil y un geodrén chimenea contra el espaldón del muro.**
- 2. Se debe pensar en la colocación de lloraderos para evitar un exceso en las presiones hidrostáticas dentro de la masa de suelo reforzado. A manera de recomendación la separación horizontal entre cada lloradero puede ser de 3 m y la vertical de 1 m.**

### **6.3 Colocación del geotextil**

- 1. El rollo de geotextil deberá colocarse con el sentido a partir del cual se realizó el diseño, perpendicular al alineamiento horizontal del muro. Debe asegurarse en el sitio de tal manera que se prevenga cualquier movimiento durante la colocación del material de relleno.**
- 2. Se debe garantizar como mínimo un traslape de 30 cms a lo largo de todos sus bordes.**
- 3. Si se prevé unos asentamientos grandes en la fundación que puedan originar una separación entre los rollos traslapados, se recomienda la unión mediante la costura.**

### **6.4 Colocación del material de relleno**

- 1. El material deberá colocarse directamente sobre el geotextil, compactando la primera capa de 15 cms de espesor con equipos manuales (benitines o ranas). Después de esta primera capa el proceso de compactación podrá realizarse, a juicio del ingeniero, mediante la utilización de los compactadores convencionalmente usados en vías.**
- 2. El grado de compactación deberá ser al menos del 95% de la densidad máxima obtenida en laboratorio para el ensayo de Proctor modificado.**
- 3. Evitar al máximo cualquier movimiento o arrugamiento del geotextil durante la colocación del material de relleno.**

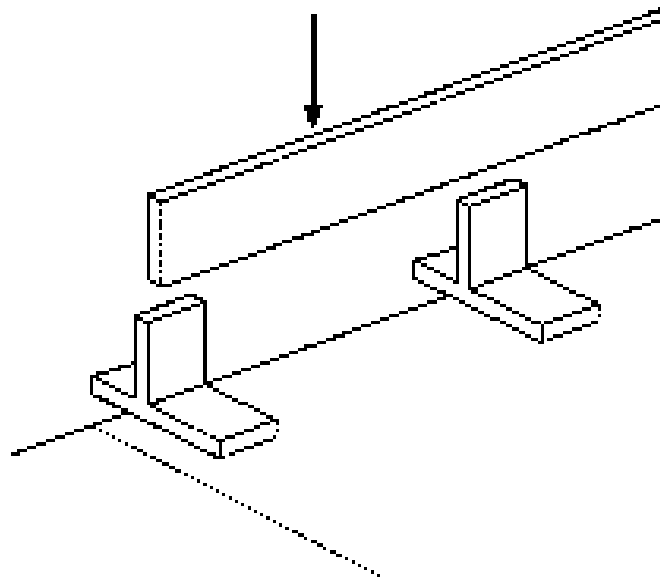
4. Se recomienda que en todos los casos al trabajarse en los primeros 60 cms más cercanos al borde del muro se trabaje con compactadores manuales.

## 6.5 Construcción de las capas

1. Colocar el rollo de geotextil directamente sobre el suelo de fundación o sobre el manto drenante. Para conformar la cara del muro se utiliza una formaleta sencilla, consistente en una serie de ménsulas metálicas o de madera en forma de “L”, que también pueden estar reforzadas con contrafuertes. Su cara vertical está compuesta por un tablón con una altura ligeramente superior a la de la capa que esté conformando.
2. Se debe prever que al menos 1 m de geotextil esté por fuera de la formaleta, para luego poder conformar el pliegue superior de cada una de las capas de refuerzo.
3. Colocar el material de relleno, según el proceso mencionado en el punto anterior.
4. Construir un montículo de 30cm a 60 cm de ancho a partir de la cara del muro. Este se realizara inmediatamente después de haber compactado la primera capa. Este montículo al terminar de compactarlo deberá alcanzar la altura de diseño de la capa a la cual pertenezca.

5. El extremo del geotextil que se había dejado suelto anteriormente para realizar el pliegue superior, se coloca sobre el montículo.
6. Se coloca más material de relleno para alcanzar la altura de diseño de la capa, posteriormente compactándolo.
7. Se retira la formaleta, procediendo primero con los tablonces y posteriormente con las ménsulas. Esta misma formaleta se usa para continuar con las capas superiores.
8. Una vez alcanzada la altura final del muro se procede a construir su fachada. Estas se enunciaron en incisos anteriores.

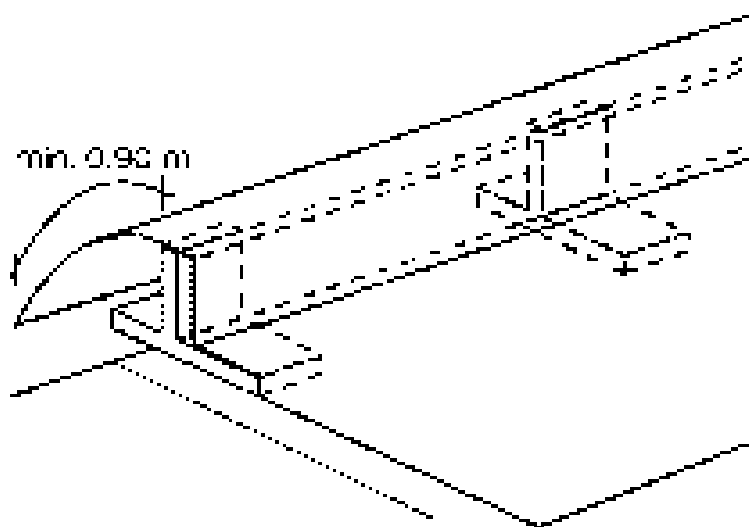
Figura 9. Colocación del rollo de geotextil sobre el suelo.



Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

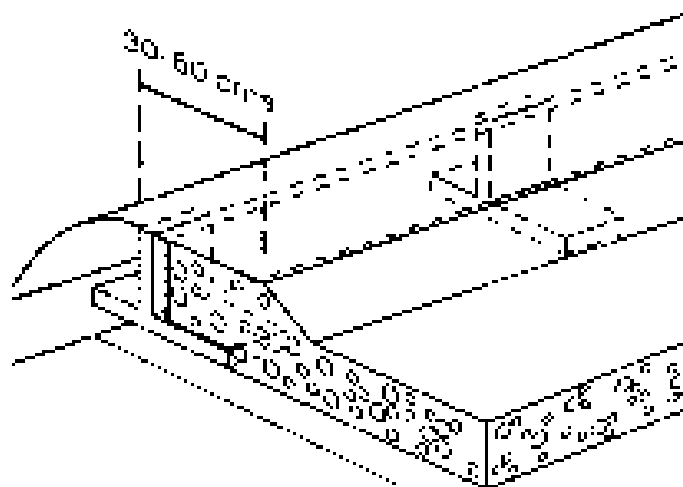


Figura 10. Conformación de pliegue superior.



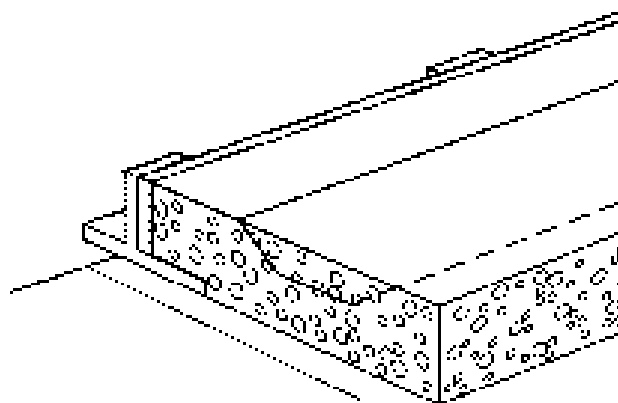
Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

Figura 11. Construcción de motilado



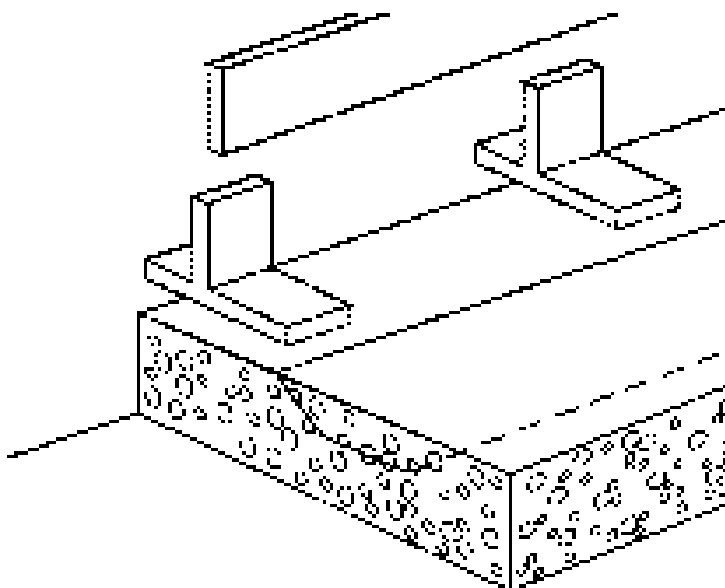
Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

**Figura 12. Colocación del material al relleno y al alcanzar la altura de diseño.**



**Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.**

**Figura 13. Retiro de formaleta e inicio repetitivo.**



**Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.**

## **6.6 Refuerzo de taludes en terraplenes**

### **6.7 Generalidades**

Los principales elementos de construcción empleados por el hombre son los materiales térreos, conformados por suelos y rocas. No solo con los suelos y las rocas se construye si no también sobre ellos y dentro de ellos. Esta comprobado que en muchos casos las propiedades geomecánicas de los materiales térreos no satisfacen las características deseables para diferentes procesos y tratamientos especiales para modificar su comportamiento a las condiciones deseables.

Desde la antigüedad, se ha colocado materiales naturales como pieles de animales, o fibras vegetales sobre los suelos blandos o incrustados dentro de éstos con el objetivo de construir estructuras de suelo reforzado. Por ejemplo en las vías de las civilizaciones Romanas se han encontrado vestigios de telas y pieles utilizados para propósitos de refuerzo, en la década de los años 60 se inicia la utilización de los primeros textiles para fines ingeniérriles, pero fue hasta los años 70 en donde se inicio la fabricación y aplicación de materiales textiles especiales para la ingeniería y es entonces donde adoptan el nombre de geotextiles.

Los geotextiles y en general los geosintéticos complementan las falencias que presentan los materiales térreos, permitiendo obtener excelentes ventajas técnicas y económicas en la construcción de muros en suelo reforzado, taludes reforzados, terraplenes sobre suelos blandos, sistemas de subdrenaje etc.

Los suelos al igual que el concreto presentan una buena resistencia a la compresión pero son deficientes cuando se trata de asumir esfuerzos de tracción, por tal motivo cuando los suelos son combinados con elementos que sean capaces de absorber esfuerzos de tracción como son los geotextiles se puede lograr estructuras de suelo reforzado.

Las aplicaciones de refuerzo con geotextil presentan varios campos de aplicación :

1. **Refuerzo en subrasantes para vías:** El esfuerzo en subrasantes para vías permite la construcción de pavimentos reforzados aumentando la vida útil o disminuyendo espesores de estructura de pavimento. Adicionalmente esta aplicación también ofrece una función muy importante, que es separar dos materiales, los materiales seleccionados (subbases y bases granulares) de los suelos finos de subrasante, evitando así la contaminación.
2. **Muros en suelo reforzado:** Al incluir un material con resistencia a la tracción general del conjunto, básicamente por la virtud del material geosintético de soportar esfuerzos de tracción y por el esfuerzo cortante que se genera entre el suelo y las capas adyacentes, permitiendo así la conformación de rellenos en suelo verticales. Estas estructuras reciben el nombre de muros en suelo reforzado.

3. Taludes de terraplenes reforzados: los taludes son estructuras en suelo reforzado las cuales presentan dos importantes diferencias con respecto a los muros en suelo reforzado: *la primera* de ellas es la inclinación del relleno con respecto a la horizontal la cual es inferior a los  $70^\circ$  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 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 ( $45^\circ + \phi/2$ ).
  
4. Refuerzo de suelos blandos: Cuando se construyen terraplenes sobre suelos blandos, estos pueden transmitir una presión de contacto de tal forma que se generan unas fuerzas de corte las cuales pueden superar la resistencia al corte del suelo de fundación, obteniéndose como resultado la falla en la base del terraplén.  
Un adecuado diseño de capas de geotextil tejido de alta resistencia colocados en la base del terraplén suministra refuerzo a la tracción, de tal manera que el factor de seguridad ante la falla por efecto del peso del terraplén aumente hasta un valor confiable.

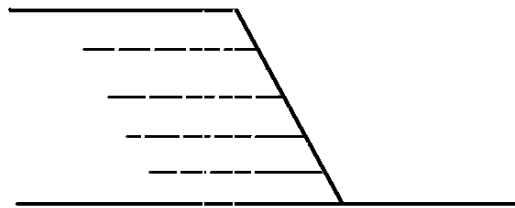
#### Beneficios de la utilización de geotextiles en la construcción de taludes de terraplenes reforzados

La utilización de geotextiles tejidos en la construcción de o los taludes en terraplenes presenta beneficios técnicos y económicos tales como:

- a. **Reducción del volumen de relleno.**
- b. **Alternativa para evitar la construcción de muros de contención rígidos.**
- c. **Obtención de área plana adicional.**
- d. **Reconstrucción de taludes en deslizamientos**

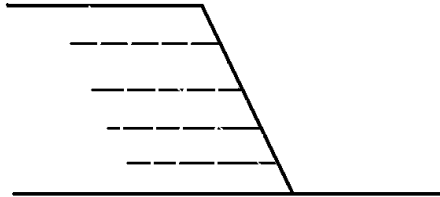
a.

**Figura 14. reducción del volumen de relleno**



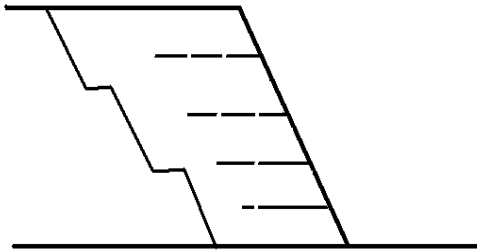
**Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.**

- b. **Figura 15. alternativa para evitar la construcción de muros de contención rígidos**



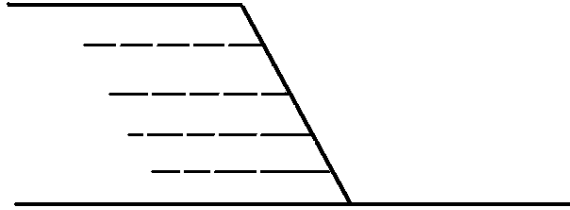
Fuente: Pavco Manual: Geosistemas

- c. **Figura 16. obtención de área plana adicional**



Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

d. **Figura 17. Obtención de área plana adicional.**



Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

## **6.8 Consideraciones de diseño**

Se considera diseño al refuerzo interno la determinación del geotextil necesario a colocar distribuido en capas de tal manera que el factor de seguridad a la falla aumente, y el terraplén sea internamente estable. La metodología consiste en determinar por los métodos clásicos de equilibrio limite el factor de seguridad de la superficie potencial de falla (más crítica o más probable) que presentan los taludes del terraplén. Este factor de seguridad es el cociente entre las fuerzas resistentes y las fuerzas movilizantes.

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.

Una vez determinado el factor de seguridad del talud reforzado con la superficie potencial de falla en estudio, se hace necesario revisar el factor de seguridad de la superficie potencial de falla para las condiciones de refuerzo ya establecidas.



Las aplicaciones del geotextil de refuerzo son consideradas críticas si es necesario la movilización del refuerzo son consideradas críticas si es necesario la movilización del refuerzo a la tracción para estabilizar los taludes del terraplén de tal forma que el factor de seguridad de la superficie potencial de falla aumente hasta un valor confiable. El refuerzo en el talud del terraplén se considera típicamente no crítico si el factor de seguridad para el talud no reforzado es mayor a 1.1 y el refuerzo es usado para incrementar el factor de seguridad hasta un valor confiable.

Existen varios programas de estabilidad de taludes disponibles para computador, los cuales son una herramienta que facilitan encontrar las superficies potenciales de falla.

Para diseñar taludes reforzados se recomienda llevar a cabo la siguiente metodología.

1. Establecer las dimensiones geométricas y condiciones de carga del terraplén.
2. Conocer el perfil estratigráfico del suelo de fundación, y determinar las propiedades geométricas de los suelos de fundación.
3. Determinar las propiedades geotécnicas de los suelos a usar en la construcción del terraplén,
4. Establecer los parámetros de diseño del geotextil a usar como refuerzo (resistencia a la tracción método tira ancha, criterios de durabilidad, interacción suelo-Refuerzo).

5. **Determinar el factor de seguridad del talud no reforzado.**
6. **Determinar el refuerzo necesario para estabilizar el talud.**
7. **Chequear la estabilidad externa.**
8. **Establecer los sistemas de drenaje y sub-drenaje del terraplén.**

### **PROCEDIMIENTO DE DISEÑO**

#### **6.9 Establecer las dimensiones geométricas y condiciones de carga.**

**Geometrías y condiciones de cargas:**

- **Altura del terraplén, H.**
- **Angulo del o de los taludes del terraplén,  $\beta$ .**
- **Establecer las cargas externas que tendrán el terraplén tales como sobrecargas (Q),(q), cargas vivas, diseño sísmico, aceleración .**

**CONOCER EL PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO DE  
FUNDACION, Y DETERMINAR LAS PROPIEDADES  
GEOTECNICAS**

- a. Es muy importante conocer el perfil estratigráfico, propiedades geotécnicas de los suelos de fundación encontrados: Gradación e índice de plasticidad,  $C_u$ ,  $\omega_u$  y/o  $C_c$ ,  $\omega_c$  y parámetros de consolidación para el calculo de los asentamientos ( $C_c$ ,  $C_r$ ,  $C_v$  y  $\omega_p$ ), con el objetivo de revisar las condiciones de fundación del terraplén, se aclara que en esta metodología de diseño se supone condiciones óptima de cimentación. De presentarse problemas de inestabilidad por malas condiciones de cimentación es necesario estudiar alternativas de estabilización tales como: refuerzo de base de terraplenes con geotextiles, reemplazo de materiales, cimentación profunda, etc.
- b. Localizar la altura de la tabla freática N.F, y las condiciones de presencia de agua.
- c. Para terraplenes de reparaciones de taludes se debe identificar la superficie de falla así como la causa de la inestabilidad.

**ESTABLECER LAS PROPIEDADES GEOMECHANICAS DEL SUELO QUE  
SE UTILIZARA PARA LA CONFORMACION DEL TERRAPLEN**

Normalmente los materiales usados en la construcción de terraplenes reforzados son de tendencia granular, aunque en varios casos se han construido muros y terraplenes reforzados con materiales que tienen más del 50% de suelo fino.

El uso de altos porcentajes de suelo fino como material de construcción de terraplenes depende de la tolerancia a la deformación que se le permita, también la plasticidad que éste suelo presenta juega un papel muy importante, pues es un parámetro que indica la facilidad de manipulación que pueda tener el suelo en el proceso de compactación necesario en la conformación del terraplén.

A manera de recomendación y con base en la especificación AASHTO 90 se presenta una descripción del tipo de suelo que puede utilizarse en la construcción de terraplenes.

a. gradación

Tabla V. Tipos de suelo en construcción de terraplenes.

Tamiz	% pasa
100	100 – 75
4.75	100 – 20
0.425	0 – 60
0.075	5 - 50

Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

índice de plasticidad  $\leq 20$ .

Del suelo a usar se debe determinar:

\* Gradación e índice de plasticidad.

\* Propiedades para la compactación del próctor modificado, densidad máxima y humedad óptima de compactación ( $\rho_d$  max, H optima).

\* Parámetros de resistencia al corte,  $C_u$ ,  $\phi$  y  $C$ ,  $\phi$

## **ESTABLECER LOS PARAMETROS DE DISEÑO DEL GEOTEXTIL DE REFUERZO**

- B. obtener la resistencia ala tracción disponible del geotextil .**
  
- C. Determinar la resistencia Pullout (Treq). A este dato sele aplica un factor de seguridad de 1.5 para suelos granulares y de 2.0 para suelos cohesivos.**

### **6.10 Análisis de estabilidad de los taludes del terraplén sin refuerzo**

Realice un análisis de estabilidad de o de los taludes del terraplén sin refuerzo. Cuando la inclinación de las caras o taludes del terraplén no son simétricas o las condiciones de frontera son diferentes es necesario hacer análisis de estabilidad a los dos taludes de terraplén.

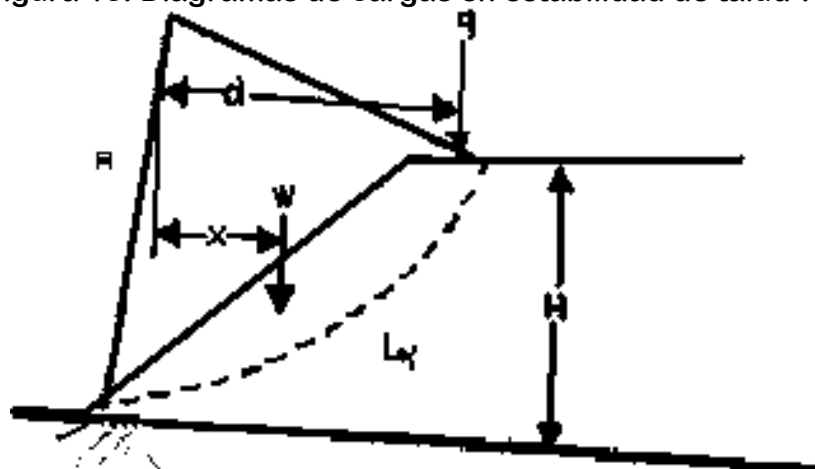
Los análisis de estabilidad se realizan con metodología convencional por medio de análisis de equilibrio limite donde se determina el factor de seguridad mas crítico de las superficies potenciales de falla y la zona crítica a reforzar a si como los momentos movilizantes.

Varios programas de computador son disponibles fácilmente, estos son una herramienta que facilita la determinación de las superficies potenciales de falla y la zona crítica a reforzar, por ejemplo PCSTABLE desarrollado por la universidad de Purdue, el programa XSTABL desarrollado por la universidad de Idaho, entre otros. No solo se debe analizar la superficie de falla mas crítica, también la zona de falla conformada por todas aquellas superficies de falla que presenten un factor de seguridad menor a 1.5.

### 6.11 Diseño del refuerzo necesario para la estabilidad del talud

Teniendo en cuenta las superficies de falla con factores de seguridad menores a 1.5, determinados en un programa de estabilidad de taludes ó tratando superficies de falla y aplicando la ecuación de equilibrio limite.

Figura 18. Diagramas de cargas en estabilidad de talud-.



Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

- para la superficie de falla que se esté diseñando el refuerzo, calcule el momento desestabilizante  $M_D$  y el momento resistente  $M_R$  como:

$$M_D = W * X + q * d$$

$$M_R = M_D * FS_u = (W * X + q * d) * FS_u$$

$FS_u$  = calculado en el programa de estabilidad u obtenido manualmente trazado superficie de falla.

- determine la fuerza total a la tensión que suministra el refuerzo T, requerida para obtener el factor de seguridad de talud reforzado  $FS_R = 1,5$ :

$$\text{Total} = (FS_R * M_D - M_R) / R = (FS_R * M_D - FS_u * M_R) / R = ((FS_R - FS_u) * M_D) / R$$

$FS_R$  = Factor de seguridad requerido (Normalmente es 1.5)

$FS_u$  = Factor de seguridad del talud sin refuerzo

R = Radio de la superficie de falla

- La fuerza necesaria que debe suministrar cada capa de geotextil es :

$$T_d = \text{Total} / \text{espaciamiento requerido}$$

- Repita lo anterior hasta obtener una distribución adecuada.

Para taludes con alturas bajas ( $H < 6\text{m}$ ) asuma una distribución uniforme del refuerzo y use  $T_{\text{max}}$  para determinar el espaciamiento del refuerzo.

Para taludes altos ( $H > 6\text{m}$ ) divida el talud en dos zonas de refuerzo ( $T_{\text{superior}}$  y  $T_{\text{interior}}$ ) o en tres zonas de refuerzo ( $T_{\text{superior}}$ ,  $T_{\text{medio}}$  y  $T_{\text{interior}}$ ) de iguales dimensiones y use la siguiente distribución de  $T$ :

Para dos zonas:

$T_{\text{superior}}: \frac{3}{4} T_{\text{max}}$

$T_{\text{medio}}: \frac{1}{4} T_{\text{max}}$

Para tres zonas:

$T_{\text{superior}}: \frac{1}{2} T_{\text{max}}$

$T_{\text{medio}}: \frac{1}{3} T_{\text{max}}$

$T_{\text{interior}}: \frac{1}{6} T_{\text{max}}$

- Determine el espacio vertical del refuerzo  $S_v$ .

Para cada zona, calcule la tensión de diseño,  $T_d$ , requerida para cada capa basada en asumir el espaciamiento  $S_v$ , si la resistencia a la tensión es conocida, calcule el espaciamiento vertical y el número de capas de refuerzo,  $N$ , requerida para cada zona como:

$$T_d = T_a * R_c = (T_{\text{zona}} * S_v) / H_{\text{zona}} = T_{\text{zona}} / N$$



Donde:

**Rc = Porcentaje de cubrimiento del refuerzo (Rc = 1 para planos continuos)**

Tzona=Resistencia máxima a la tensión requerida para cada zona; Tzona igual a Tmax para taludes bajos (H< 6m)

Sv = Espaciamiento vertical del refuerzo

Hzona= altura de la zona, y es igual en la parte superior, media e inferior para taludes altos (H > 6m)

- Determine la longitud de empotramiento requerida, Le.

$$Le = (Ta * F.S) / (F * \alpha * \alpha_v * 2)$$

F : factor de resistencia del ensayo pullout, sino se tiene disponible el ensayo pullout use para geotextiles  $F = 0.2/3 \tan \phi$ , donde  $\phi$  es el ángulo de fricción interna. Use  $\phi$  y c , diseño a largo plazo y Cu y/o  $\phi$  de ensayos no consolidados no drenados ó consolidados drenados para revisión a corto plazo.

$\alpha$ : Factor de transferencia use 0.8 a 1.0

La longitud de empotramiento mínimo es de  $Le = 1m$

## 6.12 Chequeo a la estabilidad externa

- **Chequeo al deslizamiento:** Se debe determinar el factor de seguridad al deslizamiento el cual debe ser mayor a 1,5, De no ser así se debe ampliar la base y la longitud del refuerzo del terraplén.

$$FS = ((W + PA * \text{SEN } \alpha) \text{ Tan } \alpha_{sg}) / PA * \text{Cos } \alpha$$

$$W = \frac{1}{2} L^2 * \gamma * \text{Tag } \alpha, \text{ para } L < H$$

$$W = (LH - H^2 / (2 \text{Tag } \beta)) \gamma, \text{ para } L > H$$

Donde :

L = Longitud del refuerzo en la capa inferior

H = Altura del talud

FS = Factor de seguridad al deslizamiento ( > 1.5)

PA = Presión activa de la tierra

$\alpha_{SG}$  = Angulo de fricción entre el suelo de fundación y el

geotextil

$\beta$  = Angulo del talud

- **Chequeo a la estabilidad global o estabilidad general.**

El efecto de la construcción de un terraplén genera una sobrecarga en el sitio en donde se está colocando, por tal motivo es necesario revisar la estabilidad general o global del sitio con el objetivo de garantizar la estabilidad del lugar o de la obra.

- **Capacidad portante**

Se debe calcular la capacidad portante ultima y admisible del terreno con el objetivo de compararla con la presión de contacto.

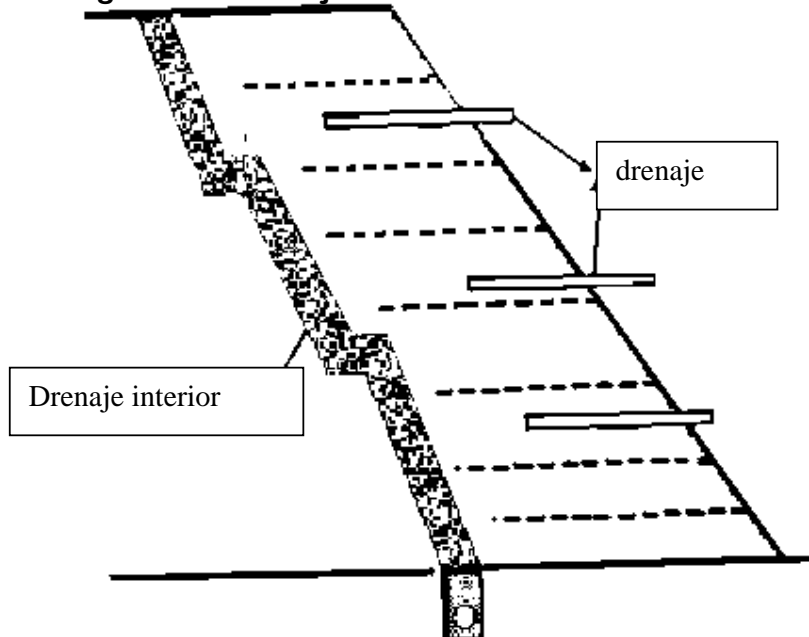
- **Estimar la magnitud del asentamiento, usando métodos tradicionales de la geotecnia.**
- **Sistemas de subdrenaje y drenaje. El drenaje y subdrenaje es critico para mantener la estabilidad del terraplén. La redundancia en el drenaje y subdrenaje es recomendable en este caso.**

Las obras de drenaje son todas aquellas obras que se deben construir de tal forma que se maneja en forma correcta el agua de escorrentía y se minimice la infiltración, estas obras en la mayoría de los casos se deben construir, tales obras son las cunetas, sanjas de corona, disipadores de energía, alcantarillas etc.

Las obras de subdrenaje en **TODOS LOS CASOS** se deben construir estas son vitales en garantizar la estabilidad de la obra, básicamente son de dos tipos:

1. Drenaje interior, del terraplén y consiste en un espesor de grava entre 30 y 60 cm. forrado con geotextil de tipo no tejido. Ver esquema de obras de sub-drenaje en un terraplén.
2. Drenaje exterior, consisten en tuberías perforadas normalmente de 2 ½ " forradas con geotextil de tipo no tejido. Estos drenajes permiten la salida del agua de exceso que pueda llegar a los materiales térreos que conforman el terraplén.

Figura 19. Drenajes de muro.



Esquema de obras de sub-drenaje en un terraplén

Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

## **6.13 Procedimiento constructivo**

### **6.13.1 A. Preparación del suelo base**

El suelo de fundición puede ser el nivel del terreno, o en otros casos es necesario hacer un mejoramiento del suelo de base con un material de mejores características mecánicas. Este puede ser un material tipo base granular, un suelo cemento o un colchón de grava que a la vez evite los ascensos de niveles freáticos, esta determinación debe establecerse por el ingeniero diseñador, basándose en el estudio de suelos y teniendo en cuenta las condiciones particulares del proyecto.

#### **Construcción del sistema de drenaje**

Como cualquier estructura de contención es importante la construcción de sistemas adecuados de drenaje y subdrenaje.

##### **6.13.1.1 Estructuras de drenaje**

Las estructuras de drenaje son las obras de arte que se construyen paralelas a la construcción del muro o terraplenes, y son las que garantizan el buen manejo del agua de escorrentía superficial minimizando así la infiltración. Estas estructuras pueden ser cunetas, zanjas de coronación, disipadores, entre otras. La aplicación de este tipo de obras depende de las condiciones particulares de cada sitio.

### 6.13.1.2 Estructuras de subdrenaje

Las estructuras de subdrenaje son aquellas obras necesarias y vitales para el manejo de agua en todos los casos donde se construyen obras de contención de cualquier tipo. Existen dos tipos de subdrenaje, ambos de igual importancia.

- Drenaje interior
- Drenaje interior

Este subdrenaje es el que se construye en los espaldones del muro y de terraplenes y es el encargado de evitar que se genere presión hidrostática, que pueda afectar la estabilidad del muro.

El drenaje interior se debe construir con un material granular limpio de finos que esté entre  $\frac{3}{4}$  " y  $2 \frac{1}{2}$  ", material que debe cubrirse con un geotextil de tipo no tejido.

Normalmente el espesor del subdrenaje oscila entre 40 y 80 cms según la cantidad de agua que se estime en el diseño. Este subdrenaje chimenea deberá entregar el agua captada a un subdrenaje longitudinal encargado de la evacuación.

#### \* Drenajes

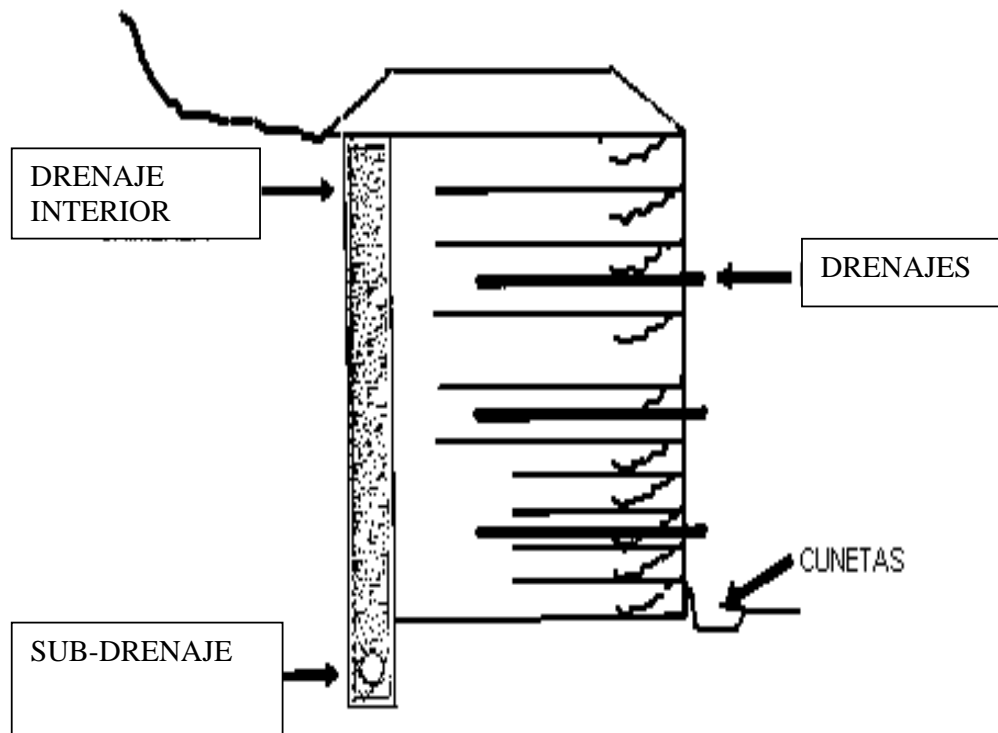
A pesar de tener drenajes para el manejo de escorrentía superficial y subdrenaje; a la masa del suelo reforzado se le puede infiltrar algún caudal. Por tal motivo es necesario construir drenajes que permitan la salida de agua de exceso.

Estos drenajes se pueden construir en tubería perforada de 2 ½ “ a 4 “, forrada con geotextil no tejido o gravilla forrada con geotextil no tejido.

Los drenajes deben tener una longitud promedio de  $\frac{3}{4}$  de la base del muro o del terraplén y estar espaciados en sentido horizontal entre 2m y 3m aproximadamente y en sentido vertical entre 1m y 2m aproximadamente.

La distribución exacta de los drenajes debe ser especificada por el ingeniero diseñador el cual tendrá en cuenta las condiciones particulares de cada caso.

Figura 20. Drenajes para protección.



Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

Los traslapos en sentido paralelo a la longitud del muro o del terraplén no se deben construir. Las formaletas fijas, aunque son más costosas permiten lograr una mejor compactación del borde de la cara permitiendo así un mejor acabado vertical.

#### 6.14 Fachada

El tipo de fachada del muro o del terraplén dependerá de la función arquitectónica que este vaya a tener. Es posible hacer fachada con:

- recubrimiento de mortero y malla.
- Mampostería
- Losas o enchapes prefabricadas
- Vegetación entre otros

En todos los casos se debe usar algún tipo de fachada con el objetivo de proteger el geotextil contra la degradación U:V: y/o el vandalismo. En el caso de usar fachada con un recubrimiento de mortero, la malla se debe anclar a la cara del muro, ahciendo uso de alambrotos o varillas de 3/8 “ en forma de U, posteriormente recoloca el pañete en un espesor promedio de 4 cm.

En el caso de usar vegetación, la cara del muro o del terraplen debe tener una inclinación máxima de 70 grados o tener escalonadas las capas.



### **6.15 Generalidades**

Uno de los tipos de obras más comunes en la ingeniería de vías ha sido la de muros de contención, bien sea para la conservación de las dimensiones de la bancada, cuando se habla de suelos de relleno o para el caso de deslizamientos en zonas de corte.

Tradicionalmente se han venido utilizando muros de contención por gravedad que contrarrestan las presiones horizontales gracias a su gran masa. Una de las alternativas presentadas a mediados de la década de los sesenta, fue creada por el ingeniero francés Henry Vidal, que consistía en la inclusión de una serie de tiras metálicas, amarradas a unos elementos externos que componían la cara del muro, hasta una determinada longitud dentro del relleno utilizado, para conformar así la masa de contención. Este es un sistema que se ha venido empleando con relativo éxito en la actualidad y tiene el nombre registrado de tierra armada. Se ha visto que aunque el sistema tiene un buen desempeño, su principal problema radica en la determinación de la duración del refuerzo metálico dentro del suelo, ya que este se encuentra expuesto a un proceso permanente de corrosión.

Gracias al desarrollo de nuevos materiales que pueden soportar las condiciones de humedad y de acidez o alcalinidad dentro del suelo, se ha venido implementando el uso de mantos sintéticos tales como los geotextiles, para que suministren refuerzo debido a las características mecánicas que estos poseen, como su resistencia a la tensión, desarrollando de forma análoga la misma función que las tiras metálicas, solamente que el refuerzo es suministrado en zonas determinadas por franjas. Los estudios que condujeron al uso de esta nueva tecnología tuvieron origen en Francia y Suecia a finales de la década de los setenta.

Los muros de contención reforzados con geotextil se han convertido mundialmente en una alternativa de construcción frente a los muros de concreto reforzado y a los terraplenes conformados naturalmente, principalmente cuando hay deficiencias en la capacidad portante del suelo de fundación o cuando las condiciones geométricas de la sección de la vía no permiten que las zonas de relleno sean realizadas a un ángulo igual o menor al de reposo natural del suelo de relleno.

No necesariamente las condiciones tienen que ser tan críticas como las mencionadas anteriormente, la gran ventaja es que son alternativa más económica, de hecho bajo las mismas condiciones geotécnicas y constructivas, un muro de suelo reforzado puede originar una reducción de los costos totales de un 30 a un 60%, si se compara con las técnicas tradicionales para la construcción de este tipo de obras, debido al hecho de poder utilizar los materiales térreos del sitio.

En países que poseen tecnologías de punta, como los Estados Unidos de América solamente en proyectos de autopistas federales, se han construido más de dos mil muros en suelo reforzado con geosintéticos. La evolución en este campo ha sido tan grande, que hoy en día, gracias a investigaciones realizadas por la FHWA (Federal Highway Administration) de este país, se han desarrollado métodos constructivos y de diseño para conformar las pilas de puentes, en suelo reforzado con geosintéticos.

## **6.16 Refuerzo de terraplenes sobre suelos blandos**

Cuando se construyen terraplenes sobre suelos blandos, estos pueden transmitir una presión de contacto de tal forma que se generan unas fuerzas de corte de las cuales pueden superar la resistencia al corte del suelo de fundación, obteniéndose como resultado la falla en la base del terraplén. Un adecuado diseño de capas de geotextil tejido de alta resistencia colocados en la base del terraplén permite desarrollar un refuerzo a la tracción de tal manera que el factor de seguridad ante la falla por efecto del peso del terraplén aumente hasta un valor confiable.

El refuerzo con geotextil puede disminuir los desplazamientos horizontales, verticales y los asentamientos diferenciales, aunque no se debe considerar que presente una disminución de los asentamientos por consolidación primaria ni secundaria.

El uso de geotextiles tejidos de alta resistencia para la construcción de terraplenes sobre suelos blandos puede presentar los siguientes beneficios:

- El incremento del factor de seguridad.
- La posibilidad de incrementar la altura del terraplén.
- Reducción de los desplazamientos durante la construcción
- Disminución de los asentamientos diferenciales.

Existen varias alternativas para la estabilización de terraplenes sobre suelos blandos, dependiendo de las condiciones particulares de cada caso, estas soluciones pueden ser:

Reemplazo de suelos, pilotes de carga por fricción o por punta, pilotes drenantes o drenes verticales, geotextiles de refuerzo y otras. Está demostrado que el refuerzo con geotextiles tejidos de alta resistencia es una alternativa de estabilización a un bajo costo comparado con otras alternativas. En algunos casos la solución técnica y económicamente mas conveniente puede ser la combinación de tratamientos convencionales como por ejemplo reemplazos de materiales en la fundación alternados con el refuerzos con geosintéticos.

- El refuerzo de terraplen sobre suelos de baja capacidad de soporte es necesario para las siguientes dos condiciones:
  - a. Suelos muy blandos y saturados tales como arcillas, limos o turbas. La segunda situación es la construcción de terraplenes sobre materiales que presentan grietas, fisuras o vacios (Típicas de suelos residuales los cuales presentan estructuras heredadas).
  - b. Los geotextiles también pueden ser usados como elementos de separación para evitar la contaminación de los materiales seleccionados que conforman al terraplén.

Si la función y aplicación del geotextil solo va ser la de separación el diseño se debe basar en garantizar la supervivencia en la construcción y posterior vida útil, entonces se puede pensar en geotextiles que tengan alta elongación como son los geotextiles no tejidos. En este caso no se puede considerar que el geotextil aporte resistencia.

## 6.17 Consideraciones de diseño

En los terraplenes construidos sobre suelos blandos de baja capacidad portante se puede presentar tres tipos de falla:

- a. Por capacidad portante.
- b. Falla rotacional de base.
- c. Falla por desprendimiento lateral. Ver figuras a, b. c.

En esta guía de diseño se presenta la metodología para determinar el geotextil necesario para la estabilización por los modelos de falla antes descritos, la estabilidad interna de los taludes también debe ser analizada.

Las siguientes figuras muestran las fallas mas comunes tales como:

Figura 21. a. Falla por capacidad Portante



Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

Figura 22 b. Falla Rotacional



Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

Figura 23. c. Falla por desprendimiento lateral



Fuente: Pavco Manual: Geosistemas.

Las tres posibilidades de modelos de falla indica los tipos de análisis de estabilidad que se requieren, también se debe tener en cuenta los demás checos de estabilidad externa necesarios en todos los casos.

El momento mas crítico de estabilidad del terraplén es el final de la construcción, por tal motivo el mayor beneficio que presta que presta el refuerzo es durante el proceso constructivo.

El procedimiento de diseño de terraplenes sobre suelos blandos se realiza por métodos convencionales de geotecnia con algunas modificaciones por la inclusión del refuerzo.

Las condiciones que mejor modelan el comportamiento constructivo de terraplenes sobre suelos blandos son las de realizar análisis en términos de esfuerzos totales y las mas apropiadas para el diseño del refuerzo (Holtz, 1989).

#### 6.18. Beneficios del geotextil

El diseño de una estructura de pavimento depende de varios factores que afectarán la vía durante su vida útil, como son, entre otros, el tránsito, las condiciones ambientales, las características del suelo de subrasante y de los materiales que conforman la estructura de pavimento.

Las diferentes alternativas en el diseño de pavimentos normalmente resultan al evaluar varias posibilidades con los siguientes parámetros:

- **Espesores de las capas granulares.**
- **Propiedades mecánicas de los materiales granulares.**
- **Capacidad portante de la subrasante.**

En el diseño, el tránsito es un parámetro fijo y las características de los materiales como el concreto asfáltico o el concreto rígido se modifican como una última alternativa, tratando siempre de encontrar una solución definitiva al cambiar las características de los suelos y los materiales que conforman las capas de subrasante y granulares respectivamente.

Los materiales que conforman la capa estructural de los pavimentos flexibles y la capa de apoyo de los pavimentos rígidos deben cumplir unas especificaciones establecidas para soportar las capas superiores los esfuerzos a los que es sometido el sistema en todo momento. Sin embargo, son muchos los casos en donde el material no tiene las resistencias apropiadas y debe mejorarse o reemplazarse por otro que se encuentra a mayor distancia y con mayor dificultad.

Otro caso que se presenta con frecuencia es la baja capacidad portante de los suelos de subrasante y sus deficientes propiedades mecánicas, que influyen en la degradación de las capas granulares y en el comportamiento de la estructura de pavimento, lo que conlleva a una disminución de la vida útil que inicialmente se determinó en el diseño.

Por todo lo anterior, se han estudiado y analizado los efectos del uso del geotextil en la estructura de pavimento, en particular su utilización sobre la capa de subrasante en la interfase subrasante – capa granular.



El geotextil de refuerzo permite incrementar la capacidad portante del sistema que conforma la estructura de pavimento, lo que se puede traducir en una reducción del espesor de la capa granular, en un mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales que hacen parte de la capa granular o en un incremento de la vida útil de la vía en estudio. De igual manera, al mejorar las condiciones mecánicas de la estructura de pavimento se puede obtener un aumento del tránsito de diseño, evaluado con la cantidad de ejes equivalentes que van a pasar durante el período de operación de la vía.

En resumen, los efectos de la utilización de un geotextil de refuerzo sobre la capa de subrasante de una estructura de pavimento son los siguientes:

- Incremento de la capacidad portante del sistema.
- Reducción de los espesores de las capas granulares.
- Mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales que conforman la estructura de pavimento.
- Incremento de la vida útil.
- Aumento de los ejes equivalentes de diseño.

#### 6.19 Análisis teórico

Los geotextiles utilizados para el refuerzo de vías permiten mejorar el funcionamiento de la estructura de pavimento, teniendo como base un espesor inicial de capa granular sin geotextil para una condición de carga (tráfico) dada, comparado con un espesor requerido con geotextil, para la misma condición de tráfico.

El análisis también se puede hacer para un espesor de material granular requerido y un incremento del tráfico que va a pasar sobre la vía.

La metodología que se presenta en este documento, permite calcular la reducción del espesor de la capa granular y hacer la selección del geotextil adecuada para el refuerzo de la estructura. Esta metodología se basa en la teoría utilizada para el refuerzo de estructuras no pavimentadas sobre suelos de subrasante cohesivos, sin embargo se lleva al caso de vías pavimentadas, teniendo en cuenta que durante el proceso constructivo se presentan condiciones similares de esfuerzos y deformaciones en la subrasante y en las capas granulares y que el geotextil de refuerzo trabaja igual en ambos casos, mejorando el comportamiento de la capa estructural de la vía.

## 6.20 Geometría

En la sección transversal de una vía se define como  $h_0$  el espesor de la capa granular cuando no se utiliza geotextil, como  $h$  el espesor de la capa granular cuando hay geotextil y  $\Delta h$  la reducción de espesor de la capa granular que resulta de la introducción de un geotextil a nivel de subrasante. Para este método analítico se supone que el suelo de subrasante es homogéneo y que tiene un espesor suficiente para desarrollar una zona plástica.

**Donde:**

**h<sub>o</sub>:** Espesor de la capa granular sin geotextil (m)

**h:** Espesor de la capa granular con geotextil (m)

**Δh:** Reducción del espesor de la capa granular como resultado del uso de geotextil (m)

**Nota:** se supone que el suelo de subrasante es homogéneo, o al menos que tiene un espesor mínimo H<sub>min</sub> suficiente para desarrollar una zona plástica.

- **EJE DE CARGA Y AREA DE CONTACTO**

Todas las cargas de los vehículos se llevan a un eje simple de carga equivalente, que se utiliza para el desarrollo de la metodología de refuerzo. En este caso se considera un sistema de llantas dobles, que es lo que usualmente se presentan en las vías para los camiones y los buses.

Se considera que el eje de carga P se distribuye en las cuatro llantas y se considera como área teórica de contacto para cada par de llantas un rectángulo de área L \* B

$$P = 4A_c p_c \quad (2)$$

**Donde:**

**P:** Eje de carga (N)

**A<sub>c</sub>:** Area de contacto de una llanta (m<sup>2</sup>)

**p<sub>c</sub>:** Presión de inflado (Pa)

La presión de inflado  $P_c$  se toma al igual promedio de la presión actual de contacto (no uniformemente distribuida) entre cada llanta y la capa granular.

El suelo que se encuentra entre las llantas de un sistema doble está mecánicamente asociado a las llantas, sin que se presente falla de la capa granular y de la subrasante entre las llantas. Por lo tanto se puede reemplazar cada una de las áreas de contacto dobles  $2A_c$  por un rectángulo  $L \times B$ . Adicionalmente, después de examinar varias huellas de llantas dobles se obtuvo el siguiente resultado:

$$LB = 2A_c \sqrt{2} \quad (3)$$

La presión actual de contacto (no uniformemente distribuida) entre cada llanta y la capa granular induce el mismo efecto mecánico en la subrasante que una presión de contacto equivalente (uniformemente distribuida) entre el rectángulo  $L \times B$  y la capa granular, de tal forma que.

$$P = 2LBp_{ec} \quad (4)$$

Para determinar la relación entre la presión de contacto equivalente  $p_{ec}$  y la presión de inflado  $p_c$  se emplean las ecuaciones 2,3y 4  
 Por lo tanto:

$$P = 4A_c p_c$$

$$P = 2LB p_{ec} \quad \Rightarrow \quad 4A_c p_c = 2LB p_{ec}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{LB}{2\sqrt{2}} p_c = 2LB p_{ec}$$

$$p_{ec} = \frac{p_c}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

Como análisis que se hace en esta metodología es bidimensional, se debe eliminar la variable L, teniendo en cuenta lo siguiente:

Para camiones de vías:

$$L = \frac{B}{\sqrt{2}} \quad B = \sqrt{\frac{P}{P_c}}$$

Para camiones fuera de vías.

$$L = \frac{B}{2} \Rightarrow B = \sqrt{\frac{P\sqrt{2}}{P}}$$

Normalmente los vehículos se caracterizan por el eje de carga  $P$  y por la presión de inflado  $P_c$  que se toma igual a la presión actual de contacto para la descripción de esta metodología se empleará solamente la relación de camiones de vías.

## 6.21 Propiedades del geotextil

Las propiedades mecánicas de los geotextiles que mayor aplicación tienen sobre esta metodología son las definidas por el comportamiento de tensión- elongación en un ensayo de tensión biaxial, donde la deformación lateral del geotextil es restringida.

La resistencia permite determinar cuánta carga puede soportar un geotextil, medida generalmente en términos de fuerza por unidad de longitud y no en unidades de esfuerzo (fuerza por unidad de área), debido a los problemas que se pueden presentar por la variación de espesor durante los ensayos, sobre todo en los geotextiles más delgados.

En cuanto a la resistencia de los geotextiles, existen una gran variedad de ensayos que tienen como objetivo determinar las propiedades de resistencia en función de la dirección, la uniformidad y la duración de la carga aplicada y del área sobre la cual se aplica la carga. Sin embargo, para la aplicación de refuerzo la propiedad que gobierna en el comportamiento del geotextil es la resistencia a la tensión, definida como una fuerza de tensión por unidad de longitud.

Esta propiedad se determina en el laboratorio con el ensayo de resistencia a la tensión por el método de la tira ancha (Wide Width), y se obtiene la curva Fuerza-Elongación para calcular el módulo secante del geotextil, necesario para el diseño por refuerzo en aplicaciones viales.

Existe otro método de ensayo que permite obtener la resistencia a la tensión en términos de fuerza y la elongación del mismo, denominado método GRAB. Los fabricantes generalmente utilizan este ensayo como una herramienta de control de calidad, y no se debe utilizar como parámetro de diseño en las aplicaciones de refuerzo.

En la norma para la especificación de geotextiles para aplicaciones viales, la resistencia a la tensión Grab es un parámetro que se usa para definir el mínimo valor requerido para la supervivencia de los geotextiles en las diferentes aplicaciones (drenaje, separación, estabilización, refuerzo, control de erosión, barrera contra sedimentos y repavimentación), valor que varía según la clase de geotextil que se especifique.

Además del comportamiento a la tensión del geotextil, se deben tener en cuenta las características de fricción, considerando que para esta aplicación el geotextil tiene la rigidez suficiente para prevenir la falla de la capa granular por deslizamiento a lo largo de la superficie del mismo.



## **CONCLUSIONES.**

- 1. Los principales agentes destructores de un talud son el agua y la erosión; la acumulación del agua no sólo representa un peligro para la estructura de un talud sino que, también, para las personas que utilizan la carretera, por esta razón, es necesario mantener en buenas condiciones los elementos auxiliares de un talud, tales como: drenajes, cunetas, derechos de vía, etc., para que el agua que precipita sea drenada rápida y la erosión pueda ser controlada.**
- 2. Una carretera en malas condiciones pone en riesgo la seguridad de las personas que la transitan, muchos accidentes son causados por el mal estado en que se encuentran estas vías de comunicación. Los taludes son de gran importancia, pues, de estos depende el libre tránsito.**
- 3. Un inadecuado mantenimiento de carreteras presenta pérdidas económicas, ya que es mucho más grande la inversión que se requiere para construir una vía que la que se necesita para conservarla en buenas condiciones de funcionamiento.**
- 4. El mejor mantenimiento que existe es el preventivo, pues advertir posibles daños o fallas en un talud evita gastos innecesarios de recursos humanos y económicos, además, evita potenciales accidentes, pérdidas de vidas humanas y recursos económicos.**

5. Los métodos correctos de mantenimiento de taludes deben de ir acompañados de buenos materiales geosintéticos que cumplan con las normas de calidad, del equipo adecuado y su buena utilización.

## RECOMENDACIONES

1. Dada la importancia económica y social de las carreteras, se deben de crear políticas y erogar recursos para que la red vial del país sea mantenida de manera eficiente y periódica.
2. El mantenimiento vial en general se deben utilizar materiales que, realmente, cumplan con las normas o especificaciones, pues, de ellos depende, en gran medida, la calidad del proyecto y su vida útil.
3. La seguridad de los conductores debe ser prioridad al momento de dar mantenimiento a una carretera, por lo que no se debe dejar a un lado la señalización vial y se le debe de brindar el mantenimiento que sea necesario.
4. Al momento de llevar a cabo el mantenimiento vial se debe de señalar, adecuadamente y con suficiente anticipación, para evitar congestionamientos o cualquier tipo de accidente que pueda ocurrir.
5. Se recomienda incluir este tema en el programa de alguno de los cursos de carreteras de la carrera de Ingeniería Civil, para que se adquieran los conocimientos básicos en lo que respecta al mantenimiento de carreteras, en especial al mantenimiento de taludes reforzados con materiales geosintéticos.



## BIBLIOGRAFIA

- Koemer Robert **DESIGNING WITH GEOSINTETICS** prentice Hall 3a Edicion 1994.
- **GEOSYNTHETIC DESIGN AND CONSTRUCTION GUIDELINES.** NHI COURSE No. 13213; U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, National Highway Institute. Publication No. FHWA HI-95-038, Mayo 1995.
- **A DESIGN PROCEDURE FOR GEOTEXTILE REINFORCED WALL;** Leshchisky, D., Perry E,B; Geosynthetics '87, Volumen 1, pags 95-107, 1987.
- **DESIGN AND CONSTRUCTION OF A GEOTEXTILE WALL;** Chandler, Douglas; Kirkland, Thomas; Geosynthetics '91, volumen 2, Pags 775-764, 1991.
- **STRESSES AND DEFORMATION IN GEOTEXTILE REINFORCED.**
- Robert D. Holtz, Barry R. Christopher, Ryan R. Berg, Geosynthetics Engineering.
- Construction Industry Research and information association, Soil Reinforcement With Geotextiles.
- Universida de Cauca, Curso sobre Diseño Racional de Pavimentos Flexibles, Ppayan Agosto, 1991.
- XI Simposio Colombiano sobre Ingenieria de Pavimentos, Escuela Colombiana de Ingenieria, 1997.
- Manual de Diseño, PAVCO, Quinta ediciçon de mil libros Septiembre 2002.