

CAPÍTULO I

“EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN MUROS DE TALUDES URBANOS EN LA CIUDAD DE TARIJA APLICANDO EL SOFTWARE GEOSOFT PAVCO”

1.1. Introducción

En este presente trabajo se realizará la aplicación de geosintéticos aplicados en muros de taludes urbanos, ya que son estructuras de contención flexibles internamente estabilizados por la acción de refuerzo. Los geosintéticos adecuados para esta aplicación son los diferentes tipos de geotextiles ya que estas estructuras reforzadas permiten conformar áreas planas y soportar empujes laterales es el de las estructuras de contención por gravedad.

Las soluciones de ingeniería, en lo que tiene que ver con estructuras de contención y construcción de taludes de alta pendiente, han estado en permanente evolución, gracias a la labor de ingenieros consultores y constructores que día a día enfrentan el reto de construir estructuras en lugares donde el área disponible es reducida, donde no se dispone de materiales de construcción adecuados y el suelo de fundación es compresible y de baja capacidad portante.

Los geosintéticos son materiales de alto desempeño, que permiten la construcción de estructuras en suelo reforzado, con reconocidas ventajas técnicas y económicas para cualquier proyecto de ingeniería civil.

Se considera muro de contención a la estructura cuyo paramento exterior tiene una inclinación superior a los 70°. La misión principal en este tipo de estructura es la de aguantar las presiones laterales originadas por el empuje del terreno.

Los muros de contención reforzados con geosintéticos 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.

En taludes se puede colocar refuerzo en los terraplenes, o se pueden construir muros de contención los cuales actúan como estructuras de gravedad, en 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.

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.

El propósito de esta aplicación es que las carreteras de vías urbanas se conserven en buenas condiciones y presten el servicio para el cual fueron diseñadas para un mejor funcionamiento y eficiente en los diferentes elementos de una carretera, derecho de vía etc. 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. en de taludes, uno de los elementos que más los hace fallar es el agua y la erosión, 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.

1.2. Justificación del proyecto de aplicación

De acuerdo al planteamiento de aplicación de muros de taludes internamente estabilizados con geosintéticos se ha venido implementando en varios países vecinos ya que en nuestro medio es muy poco la utilización de esta metodología, sin embargo, se utilizó en área de estabilización de subrasantes con geosintéticos, capas de refuerzo en pavimentos etc.

Esta metodología de muros de taludes reforzados con geosintéticos tienen varias funciones en aplicación, uno de ellos es la utilización de refuerzo en muros flexibles de gravedad ya que es muy importante para nuestro medio aplicar esta metodología para contrarrestar los empujes horizontales de los taludes por su propio empuje y así evitar los deslizamientos a la vía urbana y así teniendo altos beneficios para la carretera y evitar accidentes ya que esta aplicación es de bajo costo en comparación a los muros de contención rígidos que tienen un elevado costo.

La relevancia e importancia de esta metodología sirve para prever y evitar los riesgos, daños que se puede dar en los diferentes tipos de empujes o deslizamientos, derrumbes o desgastes de los taludes en zonas de vía urbana. Los geosintéticos complementan las falencias que presentan los materiales térreos, permitiendo obtener grandes ventajas técnicas en la estabilización en la construcción de muros en suelo reforzado, y así poder realizarla sobre suelos blandos o de suelos de baja capacidad portante. Los suelos al igual que el concreto presentan una buena resistencia a la compresión, pero son malos cuando se trata de asumir esfuerzos de tracción, por eso 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 reforzados.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

La problemática de esta metodología de aplicación de muros de taludes internamente estabilizados con geosintéticos son los deslizamientos, derrumbes o desgastes de los taludes que se generan a lo largo de fuentes ya dadas en diferentes casos en vías urbanas y carreteras de vías de comunicación, ya que es muy importante para nuestro medio aplicar esta metodología para contrarrestar los empujes horizontales de taludes por su propio empuje y así evitar los deslizamientos a la vía urbana y así teniendo altos beneficios para

la carretera y evitar accidentes ya que esta aplicación es de bajo costo en comparación a los muros de contención rígidos que tienen un elevado costo.

La relevancia e importancia de esta metodología sirve para prever y evitar los riesgos, daños que se puede dar en los diferentes tipos de empujes o deslizamientos, derrumbes o desgastes de los taludes en zonas de vía urbana. Los geosintéticos complementan las falencias que presentan los materiales térreos, permitiendo obtener grandes ventajas técnicas y económicas en la construcción de muros en suelo reforzado, y así poder realizarla sobre suelos blandos o de suelos de baja capacidad portante. Los suelos al igual que el concreto presentan una buena resistencia a la compresión, pero son malos cuando se trata de asumir esfuerzos de tracción, por eso 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 reforzadas.

También se da en hechos de cambios climatológicos de zonas donde se generan derrumbes o deslizamientos por causas de las fuertes lluvias y degradación de los taludes hacia las vías urbanas siendo un peligro al paso del tránsito, Sin embargo, este tipo de muros de contención resulta ser de una gran problemática ya que requiere cantidad de espacio, importante volumen de materiales seleccionados, y mano de obra calificada.

1.3.2. Problema

¿Ante la presencia de taludes inestables, se puede utilizar para mejorar la estabilidad con el uso de geosintéticos que forme un muro estable delante de los taludes que éstos tengan facilidad de deslizamientos, (derrumbes)?

1.4. Objetivos de proyecto de aplicación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar y diseñar muros de taludes urbanos en la ciudad de Tarija, con la utilización de geosintéticos para la estabilización y así dar solución técnica y económica adecuada a problemas de inestabilidad de taludes que se presentan en la construcción de muros, aplicando la metodología planteada mediante el software Geosoft Pavco a diferentes taludes.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las fallas que se presentan en los taludes.
- Determinar los principales problemas o fallas, deslizamientos, volcamientos, que ocurren, sus causas y su tratamiento.
- Describir y proporcionar una guía sobre el proceso constructivo de muros de contención de taludes con geosintéticos como refuerzo.
- Identificar y definir los materiales de relleno que se utilizan en las diferentes capas de terraplenes de muros que se realizara con geosintéticos, sus especificaciones y los ensayos necesarios para determinar su calidad.
- Determinar los ensayos de laboratorio estudiados.
- Detallar los procedimientos de estabilización de taludes con la utilización de geosintéticos empleando el software Geosoft Pavco.
- Elaborar un documento en el cual se recopilen las normas, métodos, criterios, especificaciones y procedimientos necesarios para una adecuada metodología de muros en taludes con geosintéticos.
- Determinar el presupuesto general técnico y económico del muro de talud.
- Obtener satisfactoriamente los resultados del diseño del cálculo del software Geosoft Pavco del empleamiento del muro de contención en taludes en zonas de deslizamientos.

1.5. Hipótesis

Debido a que en la ciudad de Tarija existen posibles deslizamientos en varios taludes se requiere ejecutar una solución aplicando geosintéticos en muros de apoyo en taludes urbanos donde se propone utilizar como una alternativa los geosintéticos que serán dimensionados con ayuda del software Geosoft Pavco ya que esta metodología nos resultará la más apropiada en las condiciones que se presentan los diferentes tipos de taludes y así garantizar que sean más estables.

1.5.1. Identificación de variables

1.5.1.1. Variable dependiente

Estabilidad de taludes, deslizamientos, derrumbes, parámetros de conservación y mejoramiento.

1.5.1.2. Variable independiente

Como variable independiente será la utilización del software Geosoft Pavco que nos proporciona las dimensiones que debe tener el muro.

1.6. Diseño metodológico

1.6.1. Componentes

1.6.1.1. Unidades de estudio. - La unidad de estudio se entiende como cada uno de los elementos constituyentes de la población a ser estudiada, en el presente trabajo se tiene como unidad de estudio a los materiales de los taludes por sus diferentes problemas y los elementos que serán medidos que son el talud donde se realizará la metodología de muros de contención flexibles donde se obtendrá el alto, ancho, largo del talud.

1.6.1.2. Población. - La presente metodología donde se empleará la población siendo un conjunto de objetos que poseen una o varias características comunes a ser evaluados donde la población en estudio será de muros de taludes urbanos en la ciudad de Tarija aplicando los geosintéticos para su estabilización.

1.6.1.3. Muestra.- La unidad de muestra donde será representativa para esta metodología será en diferentes puntos de taludes urbanos en la ciudad de Tarija donde el talud se encuentra en los siguientes lugares punto 1 (Subida al Gallinazo ruta a San Jacinto), punto

2 (Barrio Bartolomé Attard), punto 3,4,5 (Subida al Barrio Aranjuez), punto 6,7 (Barrio San Antonio), punto 8 (Barrio la Loma), punto 9 (Barrio Miraflores), punto 10 (Av. Integración), donde se construirá un muro delante al talud de estudio con refuerzo de geosintético.

1.6.1.4. Muestreo. - El tipo de muestreo corresponde a la siguiente clasificación probalístico a un aleatorio simple tomando 3 muestras (pie, medio, cabeza), de cada talud en los diferentes puntos.

1.6.2. Procedimientos de aplicación

Se asume que en la estructura no se presentan presiones hidrostáticas y que la superficie de falla activa es una superficie plana definida por la metodología rankine.

El procedimiento practico de esta metodología de muros de contención con geosintéticos en suelos reforzados son:

- Ubicación del área de estudio
- Determinar la geometría del talud donde se eligió, la altura, el ancho y el largo
- Extraer muestra del talud para realizar ensayos de caracterización del suelo como límites (líquido, plástico), granulometría, peso específico, peso unitario, ensayo de corte.
- Realizar la caracterización de suelo como material a realizarse en zona reforzada.
- Evaluar las diferentes cargas que existan uniformes, vivas o la sobrecarga que exista encima del talud podría ser la estructura.
- Definición de las características del geosintético como refuerzo.
- Introducción de los datos de entrada al software.
- Procesamiento de datos.
- Obtención de resultados de los diferentes puntos de estudio.
- Análisis de los resultados.
- Conclusiones y recomendaciones.

Consideraciones en el diseño

- **Estabilidad interna:** Para determinar la separación entre capas del geotextil y la longitud a la que debe anclarse en la zona estable.
- Definir la cantidad de refuerzo que permita soportar mediante tensión y anclaje los empujes de tierra.
- Determinación de la separación entre capas y despiece las capas.
- Determinación de las diferentes longitudes (L_e , L_r , L_o y L_t).
- Cálculo de empujes

$$sh = shs + shq + shv$$

shs = Esfuerzo horizontal debido al suelo de relleno.

shq = Esfuerzo horizontal generado por las cargas muertas sobre el muro.

shv = Esfuerzo horizontal debido a cargas vivas.

- Cálculo del espesor:

$$S_v = \frac{T_d}{Sh \times FS}$$

T_d = Tensión admisible del geotextil.

sh = Empuje lateral a la profundidad considerada.

FS = Factor de seguridad global. (Usar entre 1.3 y 1.5).

- Longitud de las capas del geotextil

$$L_{total} = L_e + L_g$$

$$L_g = (H - Z) \times \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

$$L_e = \frac{S_v \times Sh \times FS}{2 \times (c + \gamma \times Z \times \tan \delta)}$$

L_g = Longitud hasta la superficie.

L_e = Longitud de empotramiento. Min 1m.

δ = Ángulo de fricción entre el suelo y el geotextil.

- **Estabilidad externa:** Determinar la estabilidad al deslizamiento, al volcamiento y si los esfuerzos inducidos no superan la capacidad de soporte del suelo de fundación.
 - Estabilidad al deslizamiento.
 - Estabilidad al volcamiento.
 - Capacidad portante.

1.6.3. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

El estudio recopila datos relevantes sobre esta metodología ya que son de unidad de medidas y longitudes donde el proceso de información son datos donde se aplica al diseño de tal manera el análisis son de información adecuados.

La Estadística descriptiva en general es una ciencia que estudia los métodos científicos, para reunir, organizar, y analizar datos, y tomar decisiones sobre la base de análisis. La estadística descriptiva se la interpreta de dos maneras en singular y plural donde la singular se refiere a una ciencia según la definición anterior, y la plural se refieren a ciertos datos de información numérica.

Se asume que la estadística descriptiva el estudio de un conjunto de datos, cuando se describen o analizan datos.

El tratamiento estadístico se realizará mediante los resultados que nos proporcione el software Geosoft Pavco en la aplicación de muros de taludes con geosintéticos en los diferentes puntos de estudio y el tipo de geosintético a utilizar.

1.6.4. Alcance del estudio de aplicación

En esta metodología “Evaluación de la Aplicación de Geosintéticos en Muros de Taludes Urbanos en la ciudad de Tarija aplicando Software Geosoft Pavco” que son estructuras flexibles que tienen una alta necesidad de seguridad vial en carreteras de vías urbanas de solución a problemas de deslizamientos y la mala capacidad portante de los suelos, que

permiten la construcción de estructuras en suelo reforzado con grandes ventajas técnicas y económicas.

Esta metodología procura estabilizar los deslizamientos y de esta forma tratar de evitarlo en el futuro ya que con un buen diseño garantiza la optimización de los recursos económicos, se brinda tranquilidad seguridad y confiabilidad a la sociedad. Y con estos empujes horizontales del talud contrarrestar con refuerzo que son los geosintéticos ya que tienen una alta resistencia a los esfuerzos de tensión.

La aplicación práctica a esta metodología es analizar el lugar de sitio donde se realizará es extrayendo una muestra del talud y así procesarlo en gabinete en laboratorio de suelos y hace diferentes tipos de ensayos como la caracterización de suelos extraída del lugar como granulometría, ensayo de corte, límites de consistencia, y así también tomarlo ciertas medidas al talud para la aplicación de estudio.

Otra manera para la aplicación de esta metodología es la simulación del dimensionamiento del muro de contención con refuerzo de geosintéticos es aplicando el software Geosoft Pavco que tiene grandes facilidades de su uso y manejo donde se requiere datos de laboratorio para así introducirlo al programa, donde se tomará en cuenta las estabilidades como interna y externa.

CAPÍTULO II

“ESTADO DE CONOCIMIENTO DE GEOSINTÉTICOS EN MUROS DE TALUDES URBANOS Y EL SOFTWARE GEOSOFT PAVCO”

2.1. Aspectos generales de los taludes

2.1.1. Introducción. - El moderno desarrollo de las actuales vías de comunicación, tales como canales, caminos y ferrocarriles, así como el impulso de la construcción de presas de tierra, y el desenvolvimiento de obras de protección contra la acción de ríos han puesto al diseño y construcción de taludes en un plano de importancia ingenieril de primer orden. Tanto por el aspecto de inversión, como por las consecuencias derivadas de su falla, los taludes constituyen hoy una de las estructuras ingenieriles que exigen mayor cuidado por parte del proyectista. Con la expansión de los canales, del ferrocarril y de las carreteras, provocaron los primeros intentos para realizar un estudio racional en este campo, pero no fue sino hasta el advenimiento de la Mecánica de los Suelos cuando fue posible aplicar al diseño de taludes normas y criterios.

Estas normas y criterios apuntan directamente a la durabilidad del talud, esto es a su estabilidad a lo largo del tiempo. (De MATTELS, Ing. ANEGELONE, & Ing. GARIBAY, Agosto de 2003, pág. 2)

2.1.2. Definición de talud. - Se entiende por talud a cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra. No hay duda que el talud constituye una estructura compleja de analizar debido a que en su estudio coinciden los problemas de mecánica de suelos y de mecánica de rocas, sin olvidar el papel básico que la geología aplicada desempeña en la formulación de cualquier criterio aceptable.

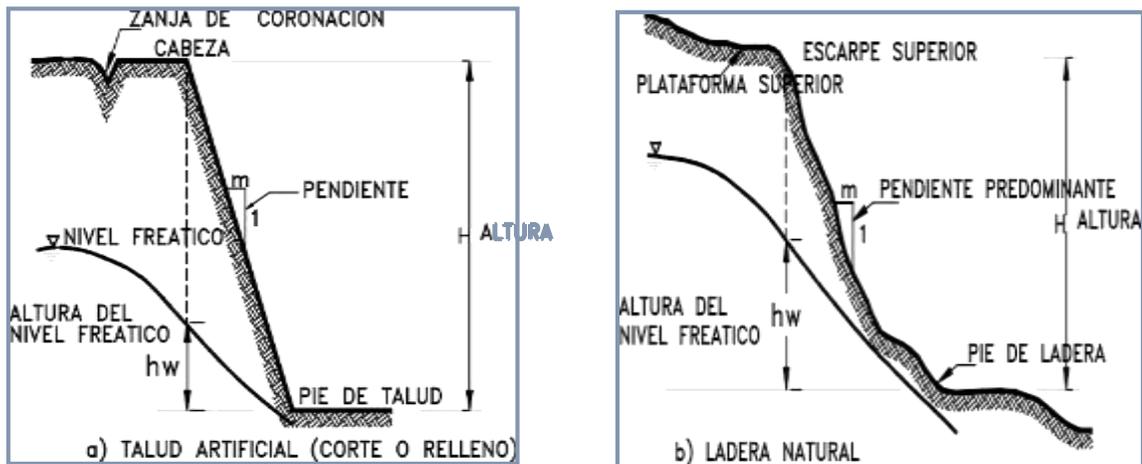
Cuando el talud se produce en forma natural, sin intervención humana, se denomina ladera natural o simplemente ladera. Cuando los taludes son hechos por el hombre se denominan cortes o taludes artificiales, según sea la génesis de su formación; en el corte, se realiza una excavación en una formación térrea natural (desmontes), en tanto que los taludes artificiales son los lados inclinados de los terraplenes. (De MATTELS, Ing. ANEGELONE, & Ing. GARIBAY, Agosto de 2003, pág. 3)

2.1.3. Nomenclatura de un talud o ladera. - Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente.

Las laderas que han permanecido estables por muchos años pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad.

Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: Los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Además, se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas.

Figura 2.1. Nomenclatura de taludes y laderas



Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.

En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

Altura. - Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

Pie. - Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

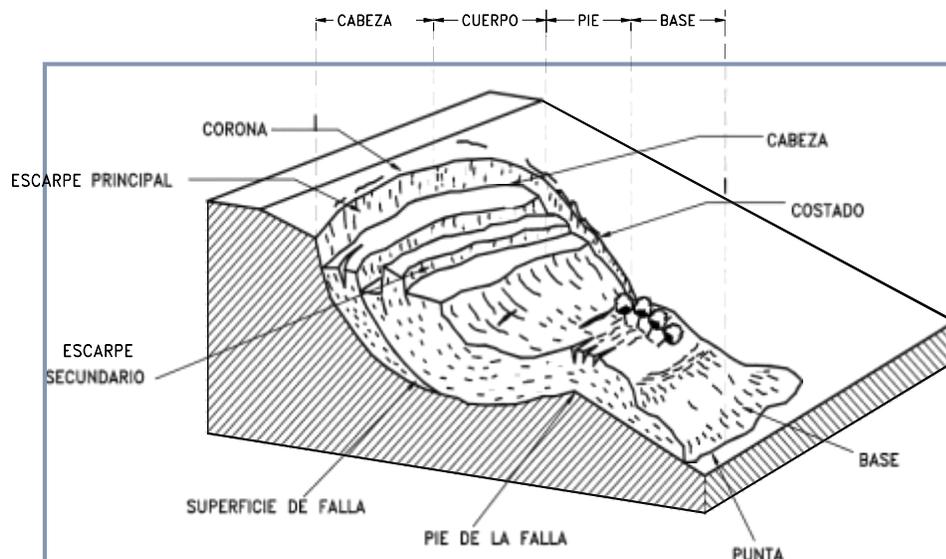
Cabeza o escarpe. - Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

Altura de nivel freático. - Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.

Pendiente. - Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. (SUAREZ DIAZ, JULIO DE 1998, págs. 1-2)

2.1.4. Nomenclatura de los procesos de movimiento. - Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos. Los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. Algunos segmentos del talud o ladera pueden moverse hacia arriba, mientras otros se mueven hacia abajo.

Figura 2.2. Nomenclatura de un deslizamiento



Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.

Escarpe principal. - Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.

Escarpe secundario. - Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.

Cabeza. -Las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

Cima. - El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

Corona. -El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.

Superficie de falla. - Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.

Pie de la superficie de falla. - La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

Base. - El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

Punta o uña. - El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

Costado o flanco. - Un lado (perfil lateral) del movimiento.

Superficie original del terreno. - La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

Derecha e izquierda. - Para describir un deslizamiento se prefiere usar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al

deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie. (SUAREZ DIAZ, JULIO DE 1998, págs. 3-4)

2.2. Estabilidad de taludes

2.2.1. Definición de estabilidad. - Se entiende por estabilidad a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento. Como primera medida es necesario definir criterios de estabilidad de taludes, entendiéndose por tales algo tan simple como el poder decir en un instante dado cuál será la inclinación apropiada en un corte o en un terraplén; casi siempre la más apropiada será la más escarpada que se sostenga el tiempo necesario sin caerse. Este es el centro del problema y la razón de estudio.

A diferentes inclinaciones del talud corresponden diferentes masas de material térreo por mover y por lo tanto diferentes costos. Podría imaginarse un caso en que por alguna razón el talud más conveniente fuese muy tendido y en tal caso no habría motivos para pensar en “problemas de estabilidad de taludes”, pero lo normal es que cualquier talud funcione satisfactoriamente desde todos los puntos de vista excepto el económico, de manera que las consideraciones de costo presiden la selección del idóneo, que resultará ser aquél al que corresponda la mínima masa de tierra movida, o lo que es lo mismo el talud más empinado.

Probablemente muchas de las dificultades asociadas en la actualidad a los problemas de estabilidad de taludes radican en que se involucra en tal denominación a demasiados temas diferentes, a veces radicalmente distintos, de manera que el estudio directo del problema sin diferenciar en forma clara tales variantes tiende a conducir a cierta confusión. Es indudable que en lo anterior está contenida la afirmación de que los taludes son estructuras muy complejas, que prestan muchos puntos de vista dignos de estudio y a través de los cuales la naturaleza se manifiesta de formas diversas. Esto hará que su estudio sea siempre complicado, pero parece cierto también, que una parte de las dificultades presentes se debe a una falta de correcto deslinde de las diferentes variantes con que el problema de estabilidad se puede presentar y se debe afrontar.

Los problemas relacionados con la estabilidad de laderas naturales difieren radicalmente de los que se presentan en taludes construidos por el ingeniero. Dentro de éstos deben verse como esencialmente distintos los problemas de los cortes de laderas y los de los

terraplenes. Las diferencias importantes radican, en primer lugar, en la naturaleza de los materiales involucrados y, en segundo, en todo un conjunto de circunstancias que dependen de cómo se formó el talud y de su historia geológica, de las condiciones climáticas que primaron a lo largo de tal historia y de la influencia del hombre que ejerce en la actualidad o haya ejercido en el pasado. Esta historia y génesis de formación de laderas y taludes, la historia de esfuerzos a que estuvieron sometidos y la influencia de condiciones climáticas o, en general, ambientales, definen aspectos tan importantes como configuración de los suelos y las rocas, o el flujo de las aguas subterráneas a través de los suelos que forman la ladera o el talud, el cual influye decisivamente en sus condiciones de estabilidad. (De MATTELS, Ing. ANEGELONE, & Ing. GARIBAY, Agosto de 2003, pág. 4)

2.2.2. Tipos de fallas y algunos procedimientos para su estabilización

Los procedimientos de análisis que se han descrito en los capítulos anteriores son aplicables únicamente para las fallas ocasionadas por el deslizamientos de una porción del suelo con respecto a otra, es decir, para aquellos casos en que el suelo falla por haberse excedido su resistencia al esfuerzo cortante. En realidad existen muchas formas en que el talud puede fallar, pero la falla por deslizamiento es la única susceptible de un análisis matemático aproximado.

Aparte de las fallas por deslizamiento ocurren en los taludes otras fallas debidas a una o varias:

- Por deslizamiento a lo largo de los planos de estratificación, como resultado del efecto lubricante del agua que escurre por dichos planos.
- Por disgregación ocasionada por el agrietamiento que se produce al secarse las arcillas sueves, especialmente las arcillas bentoníticas.
- Por disgregación debida a la intemperización, especialmente en calizas y lutitas margosas.
- Por la acción del empuje que se produce al sufrir la expansión los estratos margosos y acrillas que se saturan de agua.
- Por desplazamiento de los suelos que se encuentran debajo del pie de los taludes.
- Por la presencia de corrientes ascendentes de agua, que originan la condición

conocida como suelo movedizo.

- Por derrumbes de masas fragmentadas, ya sea a través del efecto solamente de la gravedad, o bien estimulado por la fuerza expansiva de las arcillas y margas, o por presiones por erosión y por flujo plástico o lodoso.

Antes de que puedan proyectarse con tino las obras necesarias para lograr la estabilización de un corte fallado susceptible a la falla es conveniente aclarar con todo detalle a cual de todos los tipos de fallas está expuesto y cuales son las causas que pueden controlarse o eliminarse para conseguir una estabilidad adecuada.

Una de las ideas más difundidas entre ingenieros es la de que un talud es más estable mientras menor sea su inclinación. Las teóricas clásicas que no toman en cuenta las presiones hidrostáticas proporcionan algún fundamento a esta suposición.

Sin embargo, no solamente con el análisis teórico sino también con la observación de ambulantes casos reales se ha venido a comprender que en determinadas circunstancias al abrir los taludes las condiciones de estabilidad empeoran en lugar de mejorar.

Es solo para taludes con inclinación de 50° que se observa en beneficio importante al disminuir la pendiente del talud.

Si se comparan los factores de seguridad de un talud con presiones hidrostáticas y sin ellas, se observan que el aumento que se tiene en la estabilidad es sumamente importante cuando se logran eliminar dichas presiones. En consecuencia, la atención debe dirigirse principalmente hacia obras de drenaje internas y externas que eviten la penetración del agua de las lluvias, su acumulación en depresiones mal drenadas, su absorción en estratos permeables o en zonas de mucha vegetación que la alimentan en forma gradual al suelo y mantienen un grado alto de saturación, y finalmente debe considerarse la posibilidad de interceptar las corrientes de agua que provengan de puntos muy alejados o aun de niveles más profundos.

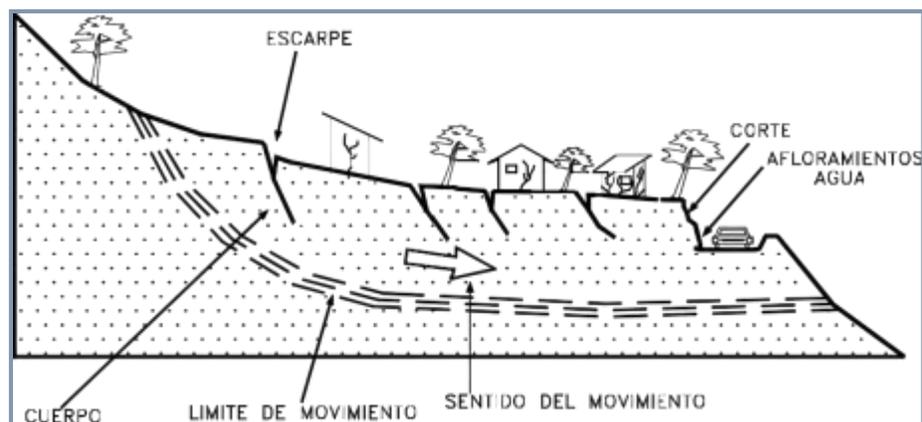
Si el análisis teórico ha demostrado que el tipo de falla más probable es un deslizamiento, entonces pueden tomarse en consideración las siguientes posibilidades para mejorar la estabilidad:

- Se puede disminuir el peso de la cuña de deslizamiento, ya sea que se la tienda hasta alcanzar un talud mas estable o que se construya una banqueteta o berma a medio talud.
- Se puede tratar de eliminar las presiones hidrostáticas, ya sea evitando la entrada del agua al interior de los taludes, interceptandola o cambiando la direccion del escurriemiento.
- Se puede proporcionar una resistencia pasiva al pie del talud por medio de un muro de sostenimiento, por la acumulación de material granular o con un revestimiento pesado de roca. (Crespo Villalaz, 2004, págs. 229-231)

2.2.3. Deslizamientos. - Se denomina deslizamiento a la rotura y al desplazamiento del suelo situado debajo de un talud, que origina un movimiento hacia abajo y hacia fuera de toda la masa que participa del mismo.

Los deslizamientos pueden producirse de distintas maneras, es decir en forma lenta o rápida, con o sin provocación aparente, etc. Generalmente se producen como consecuencia de excavaciones o socavaciones en el pie del talud. Sin embargo, existen otros casos donde la falla se produce por desintegración gradual de la estructura del suelo, aumento de las presiones intersticiales debido a filtraciones de agua, etc. (De MATTELS, Ing. ANEGELONE, & Ing. GARIBAY, Agosto de 2003, pág. 5)

Figura 2.3. Deslizamientos en suelos blandos



Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.

Los deslizamientos se pueden a su vez dividir en dos subtipos denominados deslizamientos rotacionales y translacionales o planares. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y estabilización a emplearse.

2.2.3.1. Deslizamiento rotacional

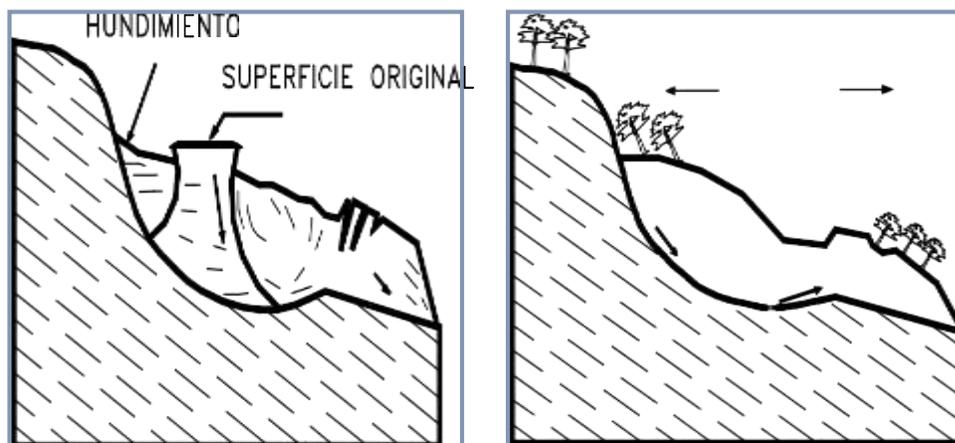
En un deslizamiento rotacional la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. Visto en planta el deslizamiento posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento generándose comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento.

En muchos deslizamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara”. Generalmente, el escarpe debajo de la corona tiende a ser semi-vertical, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos.

El movimiento, aunque es curvilíneo no es necesariamente circular, lo cual es común en materiales residuales donde la resistencia al corte de los materiales aumenta con la profundidad.

En la cabeza del movimiento, el desplazamiento es aparentemente semi-vertical y tiene muy poca rotación, sin embargo, se puede observar que generalmente, la superficie original del terreno gira en dirección de la corona del talud, aunque otros bloques giren en la dirección opuesta.

Figura 2.4. Deslizamiento rotacional típico



Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.

Frecuentemente la forma y localización de la superficie de falla está influenciada por las discontinuidades, juntas y planos de estratificación. El efecto de estas discontinuidades debe tenerse muy en cuenta en el momento que se haga el análisis de estabilidad. Los deslizamientos estrictamente rotacionales ocurren usualmente, en suelos homogéneos, sean naturales o artificiales y por su facilidad de análisis son el tipo de deslizamiento más estudiado en la literatura.

En zonas tropicales este tipo de suelos no es común y cuando existe rotación, la superficie de falla es usualmente curva pero no circular; Sin embargo, en zonas de meteorización muy profunda y en rellenos de altura significativa algunas superficies de falla pueden asimilarse a círculos.

Dentro del deslizamiento comúnmente, ocurren otros desplazamientos curvos que forman escarpes secundarios y ocasionalmente ocurren varios deslizamientos sucesivos en su origen pero que conforman una zona de deslizamientos rotacionales independientes.

2.2.3.2. Deslizamiento de traslación

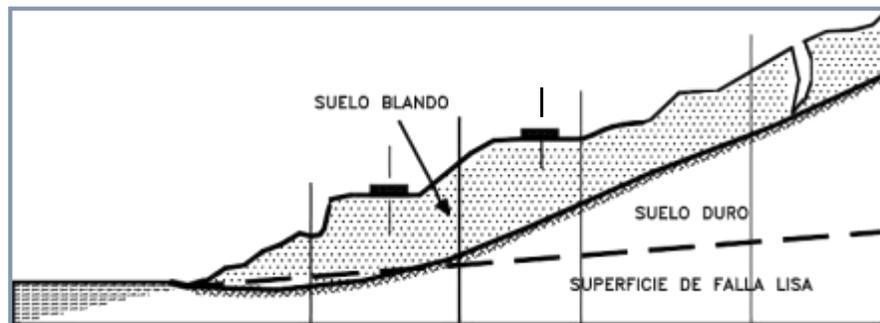
En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (Figura 1.17). Los

movimientos traslacionales tienen generalmente, una relación D_r/L_r de menos de 0.1. La diferencia importante entre los movimientos de rotación y traslación está principalmente, en la aplicabilidad o no de los diversos sistemas de estabilización.

Sin embargo, un movimiento de rotación trata de auto estabilizarse, mientras uno de traslación puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo. Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de debilidad tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y zonas de cambio de estado de meteorización que corresponden en términos cuantitativos a cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluviones. En muchos deslizamientos de traslación la masa se deforma y/o rompe y puede convertirse en flujo.

Los deslizamientos sobre discontinuidades sencillas en roca se les denomina deslizamientos de bloque, cuando ocurren a lo largo de dos discontinuidades se le conoce como deslizamiento de cuña y cuando se presentan sobre varios niveles de una familia de discontinuidades se le puede denominar falla en escalera. (SUAREZ DIAZ, JULIO DE 1998, págs. 16-19)

Figura 2.5. Deslizamiento de traslación en la vía Tijuana-ensenada en México



Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.

2.2.4. Equilibrio límite y factor de seguridad. - El análisis de los movimientos de los taludes o laderas durante muchos años se ha realizado utilizando las técnicas del equilibrio límite. Este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no se requiere sobre la relación esfuerzo-deformación.

El sistema de equilibrio límite que, en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0. (SUAREZ DIAZ, JULIO DE 1998, pág. 121)

Tabla 2.1. Métodos de análisis de estabilidad de taludes

Método	Superficies de falla	Equilibrio	Características
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	De fuerzas	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Factores de seguridad bajos.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobre determinada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma de superficie de falla.	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobre determinada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Jamba utiliza un factor de corrección F_0 para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.
Spencer (1967)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.
Elementos finitos	Cualquier forma de la superficie de falla.	Analiza esfuerzos y deformaciones.	Satisface todas las condiciones de esfuerzo. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos, pero no se obtiene un factor de seguridad.

Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.

El Factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$F. S. = \frac{\text{Resistencia al corte}}{\text{Esfuerzo al cortante}}$$

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$F. S. = \frac{\text{Momento resistente}}{\text{Momento actuante}}$$

Existen, además, otros sistemas de plantear el factor de seguridad, tales como la relación de altura crítica y altura real del talud y método probabilístico.

La mayoría de los sistemas de análisis asumen un criterio de “equilibrio límite” donde el criterio de falla de Coulomb es satisfecho a lo largo de una determinada superficie.

Se estudia un cuerpo libre en equilibrio, partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para producir el equilibrio. Calculada esta fuerza resistente, se compara con la disponible del suelo o roca y se obtiene una indicación del Factor de Seguridad.

Otro criterio es el de dividir la masa a estudiar en una serie de tajadas, dovelas o bloques y considerar el equilibrio de cada tajada por separado. Una vez realizado el análisis de cada tajada se analizan las condiciones de equilibrio de la sumatoria de fuerzas o de momentos.

$$F. S. = \frac{\sum \text{Resistencias al corte}}{\sum \text{Esfuerzos al cortante}}$$

(SUAREZ DIAZ, JULIO DE 1998, pág. 123)

2.3. Introducción a los Geosintéticos

2.3.1. Introducción. - Geosintético es un producto en el que, por lo menos, uno de sus componentes es a base de polímero sintético o natural, y se presenta en forma de filtro, manto, lamina o estructura tridimensional, usada en contacto con el suelo o con otros materiales dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil.

Existen varios campos de aplicación de los geosintéticos en el mundo de la construcción y la edificación como son: obras viales, obras hidráulicas. sistemas de control de erosión, aplicaciones medio ambientales, entre otras. La fabricación de los geosintéticos comprende procedimientos principal mente de extrusión, tecnología textil y/o ambas tecnologías: textil y plástica.

Los geosintéticos se derivan de fibras artificiales, compuestos básicamente de polímeros como polipropileno, poliéster, poliamida y polietileno, siendo los 2 primeros los de mayor utilización en la actualidad.

Los tipos de geosintéticos más comunes utilizados en el campo de la ingeniería son los geotextiles, las geomallas, las geomembranas, las georedes, recompuestos y mantos para control de erosión derivados de la unión de las características y cualidades de cada uno de los anteriores. Ahora para Colombia como una tecnología de punta, la Neoweb (sistema de confinamiento celular). (MANUAL DE DISEÑO CON GEOSINTÉTICOS 9a EDICIÓN, Junio de 2012, pág. 5)

2.3.2. Geotextiles. - Dentro del grupo de los geosintéticos tenemos los geotextiles que se definen como “un material textil plano, permeable polimérico (sintético o natural) que puede ser no tejido, tejido o tricotado y que se utiliza en contacto con el suelo (tierra, piedras, etc.) u otros materiales en ingeniería civil para aplicaciones geotécnicas”.

2.3.2.1. Clasificación

2.3.2.2. Clasificación según su método de fabricación

a. Geotextiles tejidos

Son aquellos formados por cintas entrecruzadas en una máquina de tejer. Pueden ser Tejidos de calada o tricotados. Los Tejidos de calada son los formados por

cintas de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal). Su resistencia a la tracción es de tipo biaxial (en los dos sentidos de su fabricación) y puede ser muy elevada (según las características de las cintas empleadas). Su estructura es plana.

Los tricotados están fabricados con hila entrecruzado en máquinas de tejido de punto. Su resistencia a la tracción puede ser multiaxial o biaxial según estén fabricados en máquinas tricotosas y circulares, o Ketten y Raschel. Su estructura es tridimensional.

b. Geotextiles no tejidos

Están formados por fibras o filamentos superpuestos en forma laminar, consolidándose esta estructura por distintos sistemas según cual sea el sistema empleado para unir los filamentos o fibras. Los geotextiles no tejidos se clasifican a su vez en:

- Geotextiles no tejidos ligados mecánicamente o punzonados por agujas.
- Geotextiles no tejidos ligados térmicamente o termosoldados.
- Geotextiles no tejidos ligados químicamente o resinados.

2.3.2.3. Clasificación de los geotextiles según su composición

Las fibras que más se emplean son las sintéticas, siendo por ello que siempre tendemos a asociar al geotextil con fibras o filamentos sintéticos. Sin embargo, al existir gran diversidad de aplicaciones, también se fabrican con fibras naturales y artificiales.

a. Fibras naturales

Pueden ser de origen animal (lana, seda, pelos.) vegetal (algodón, yute, coco, lino ...) que se utilizan para la fabricación de geotextiles biodegradables utilizados en la revegetación de taludes, por ejemplo, en márgenes de ríos etc.

b. Fibras artificiales

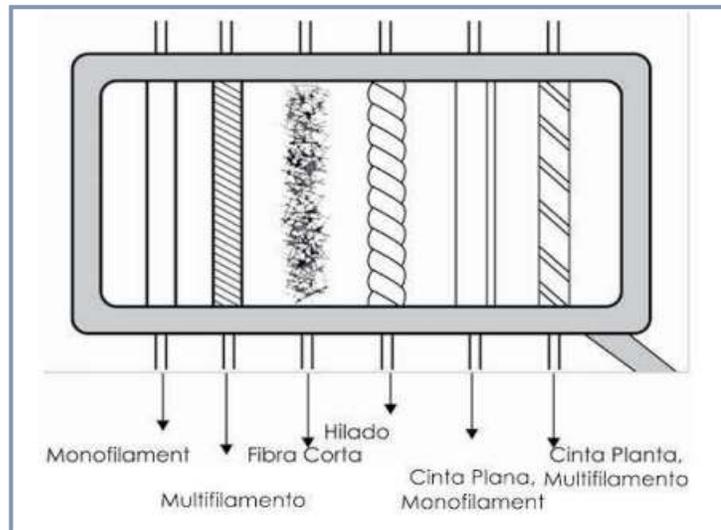
Son las derivadas de la celulosa. Son el rayón, la viscosa y el acetato.

c. Fibras sintéticas

Cuando al geotextil se le exige durabilidad, se fabrica con fibras o filamentos obtenidos de polímeros sintéticos. Los geotextiles fabricados con estos polímeros son de gran durabilidad y resistentes a los ataques de microorganismos y bacterias.

Los más empleados son el polipropileno, poliéster, polietileno, poliamida y poliacrílico. (MANUAL DE DISEÑO CON GEOSINTÉTICOS 9a EDICIÓN, Junio de 2012, pág. 5-6)

Figura 2.6. Tipos de fibras utilizadas en la construcción de geotextiles



Fuente: Manual y software de diseño GEOSOFT PAVCO.

2.3.2.4. Funciones y campos de aplicación

El uso de los geotextiles tejidos y no tejidos en los diferentes campos de aplicación pueden definirse mediante las funciones que va a desempeñar. En la mayoría de las aplicaciones el geotextil puede cumplir simultáneamente varias funciones, aunque siempre existiría una principal que determine la elección del tipo de geotextil que se debe utilizar.

A continuación, se describen las distintas funciones y aplicaciones que pueden desempeñar los geotextiles, así como las exigencias mecánicas e hidráulicas necesarias para su desarrollo.

- Función de separación.
- Función de refuerzo.
- Función de drenaje.
- Función filtro.
- Función protección.

- Función de impermeabilización

2.3.2.5. Función refuerzo

En esta función se aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil para trabajar como complemento de las propiedades mecánicas del suelo, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción como en la de servicio de las estructuras.

El geotextil actúa como un elemento estructural y de confinamiento de los granos del suelo, permitiendo difundir y repartir las tensiones locales. Estas acciones aumentan la capacidad portante y la estabilidad de la construcción.

A continuación, se referencian las aplicaciones:

Refuerzo de suelos débiles y otros materiales

- Sobre suelos blandos para caminos no pavimentados.
- Sobre suelos blandos para campos de aterrizaje.
- Sobre suelos blandos para vías férreas.
- Sobre suelos blandos para rellenos Sobre suelos blandos en campos deportivos y de atletismo.
- Sobre suelos heterogéneos.
- Sobre rellenos inestables como sistemas de cerramiento.
- Para confinamiento lateral de balasto en vías férreas.
- Para envolver suelos en sistemas de telas encapsuladas.
- Para construir muros en suelo reforzado.
- Para reforzar terraplenes.
- Para ayudar en la construcción de taludes pronunciados.
- Para reforzar presas de tierra y roca.
- Para estabilización temporal de taludes.
- Para detener o disminuir la reptación en taludes de suelo.
- Para reforzar pavimentos flexibles con juntas.
- Como refuerzo basal en áreas cársticas.

- Como refuerzo basal entre cabezotes de pilotes de cimentación. (MANUAL DE DISEÑO CON GEOSINTÉTICOS 9a EDICIÓN, Junio de 2012, pág. 10-11)

2.3.3. Geomallas coextruída

Existen diversos métodos para aumentar la capacidad de carga de suelos blandos. Uno de estos, antiguo y todavía efectivo, consiste en reforzar el suelo mediante confinamiento lateral de las partículas de material y aumentar su resistencia a la tensión. Tradicionalmente estos efectos se obtenían usando ramas trenzadas o colocando troncos de forma perpendicular.

La tecnología actual, permite el uso de productos sintéticos diseñados específicamente para obtener el mismo efecto de confinamiento lateral y resistencia a la tensión, como pueden ser las geomallas bi-orientadas coextruídas.

Las geomallas coextruídas son estructuras bidimensionales elaboradas a base de polímeros, que están conformadas por una red regular de costillas conectadas de forma integrada por extrusión, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante.

La principal función de las geomallas coextruídas es indiscutiblemente el refuerzo; el uso del tipo de geomalla está ligado a la dirección en que los esfuerzos se transmiten en la estructura, por ejemplo, en aplicaciones tales como muros en suelo reforzado o en terraplenes, se utilizan las geomallas mono-orientadas que son geomallas con una resistencia y rigidez mayor en el sentido longitudinal que en el transversal. Mientras, que en estructuras en que la disipación de los esfuerzos se realiza de forma aleatoria y en todas las direcciones, como por ejemplo estructuras de pavimento o cimentaciones superficiales, se utilizan geomallas bi-orientadas o bi-direccionales las cuales no tienen una diferencia considerable frente a sus propiedades en los dos sentidos de la grilla.

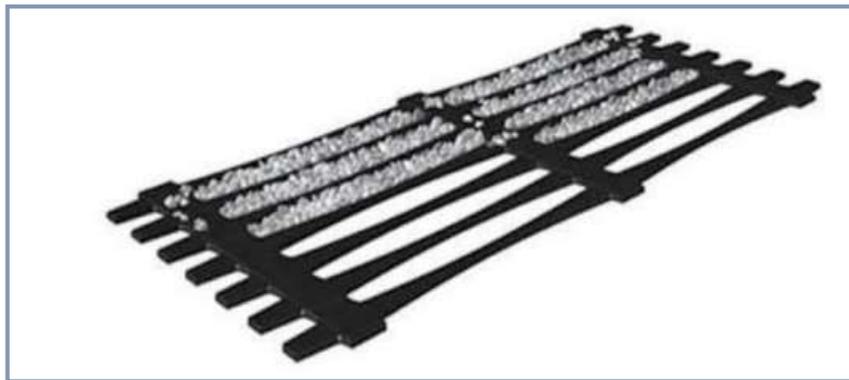
Las geomallas coextruídas generan un incremento en la resistencia al corte del suelo. Durante la aplicación de una carga normal al suelo, este es compactado de manera que se produzca una interacción entre las capas de suelo que rodean la geomalla. Con estas condiciones, se requerirá una carga considerablemente mayor para producir un movimiento en el suelo. El compuesto combina la resistencia a la compresión del suelo

con la tensión de la geomalla, para crear un sistema que presenta una mayor rigidez y estabilidad que un suelo sin ningún elemento que soporte estos esfuerzos. La capacidad que tiene la geomalla para distribuir las fuerzas sobre su superficie incrementan las características de resistencia contra los desplazamientos de la estructura durante el sometimiento de esta a cargas tanto estáticas como dinámicas.

2.3.3.1. Clasificación. - Como se mencionó anteriormente se dividen en dos tipos, los cuales se enuncian a continuación.

a. Geomallas coextruídas Mono-Orientadas

Figura 2.7. Geomalla coextruída mono-orientada



Fuente: Manual y software de diseño GEOSOFTE PAVCO.

Las geomallas mono-orientadas, son estructuras bi-dimensionales producidas de polietileno de alta densidad (HDPE) utilizando un proceso de extrusión seguido de un estiramiento mono-direccional.

Este tipo de geomallas coextruídas de HDPE, son totalmente inertes a las condiciones químicas o biológicas que se presentan normalmente en el suelo, poseen gran resistencia a los esfuerzos de tensión, soportando hasta 160 KN/m aproximadamente. Esto, con la capacidad del suelo de absorber los esfuerzos de compresión, da como resultado el concepto de estructura en suelo reforzado, similar al concepto del concreto y el acero de refuerzo.

b. Geomallas coextruídas Bi-Orientadas

Figura 2.8. Geomalla coextruída Bi-orientada



Fuente: Manual y software de diseño GEOSOFT PAVCO.

Este tipo de geomallas son estructuras bi-dimensionales fabricadas de polipropileno, químicamente inertes y con características uniformes y homogéneas, producidas mediante un proceso de extrusión y luego estiradas de forma longitudinal y transversal.

Este proceso genera una estructura de distribución uniforme de espacios rectangulares de alta resistencia a la tensión en ambas direcciones y un alto módulo de elasticidad. Así mismo, la estructura de la geomalla permite una óptima trabazón con el suelo.

2.3.3.2. Funciones y aplicaciones

El uso de las geomallas coextruídas bi-orientadas y mono-orientadas, en diferentes campos de aplicación se define básicamente por su función de refuerzo. Esta función se realiza cuando la geomalla inicia un trabajo de resistencia a la tensión complementado con una trabazón de agregados en presencia de diferentes tipos de materiales.

Las principales aplicaciones de las geomallas coextruídas mono-orientadas se enuncian a continuación:

- Refuerzo de muros y taludes.
- Refuerzo de terraplenes con taludes pronunciados y diques.
- Estabilización de suelos blandos.
- Reparación de deslizamientos.

- Ampliación de cresta de taludes.
- Reparación de cortes en taludes.
- Estribos, muros y aletas de puentes.
- Muros vegetados o recubiertos con concreto.

Las principales aplicaciones de las geomallas coextruídas bi- direccionales se enuncian a continuación:

- Terraplenes para caminos y vías férreas.
- Refuerzo en bases de caminos pavimentados y no pavimentados.
- Refuerzo en estructuras de pavimento de pistas de aterrizaje en aeropuertos.
- Refuerzo debajo del balasto de las vías de ferrocarril.
- Como sistema de contención sobre rocas fisuradas.

El principal criterio de escogencia del tipo de geomalla es básicamente estudiando cómo se generan y transmiten los esfuerzos a lo largo de la estructura a reforzar, por ejemplo, en muros en suelo reforzado, sabemos que los esfuerzos principales están en una sola dirección debido a la presión lateral de tierras que el suelo retenido ejerce sobre la estructura. Mientras que, para refuerzo en estructuras de pavimento, los esfuerzos verticales generados por el tráfico, son disipadas en varias direcciones, por lo que el diseño de la geomalla para realizar el refuerzo debe tener las mismas propiedades mecánicas tanto en el sentido longitudinal como en el transversal.

(MANUAL DE DISEÑO CON GEOSINTÉTICOS 9a EDICIÓN, Junio de 2012, pág. 14-16)

(Das)2.4. Muros de contención reforzados con geosintéticos

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 cinemático 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.

2.4.1. Muros de contención

Son muy comunes para la conservación de las dimensiones de la banca en vías o contención de suelos.

Una de las soluciones más factible económica y técnicamente son las estructuras de contención conocidas como muros en suelo reforzado con geosintéticos, las cuales aprovechan la resistencia a compresión.

Los proyectos donde se emplean este tipo de soluciones son:

- Construcción de terraplenes de vías o ampliación de éstas.
- Rampas de acceso a puentes con taludes completamente verticales.
- Construcción de terrazas residenciales en laderas y en toda obra donde se requiera un talud con pendientes mayores a las que permite el ángulo de reposo natural del suelo.

2.4.2. Aplicaciones de los muros de contención en suelo mecánicamente estabilizado

Entre estas aplicaciones se destacan los enfoques a puentes, ampliaciones de vías, muros pantalla, ampliación de terraplenes, excavaciones en terrenos donde el material térreo no garantiza taludes estables, en laderas de alta pendiente, zonas propensas a la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa o terrenos con suelos de muy baja capacidad portante, donde las eliminaciones de los costos de mejoramiento de la fundación han logrado ahorros mayores al 50% del costo total del proyecto.

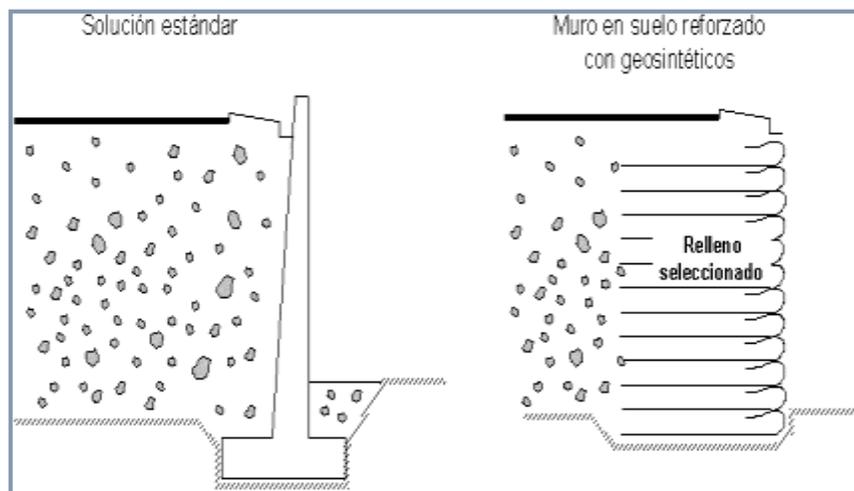
Otras aplicaciones frecuentes incluyen:

- Estructuras diversas para carreteras.
- Diques para manejo y contención de aguas en ríos y lagos, estructuras de contención en escombreras o rellenos sanitarios
- Presas y ataguías, incluyendo el realce de estructuras similares existentes.
- Depósitos para almacenamiento o confinamiento de materiales.

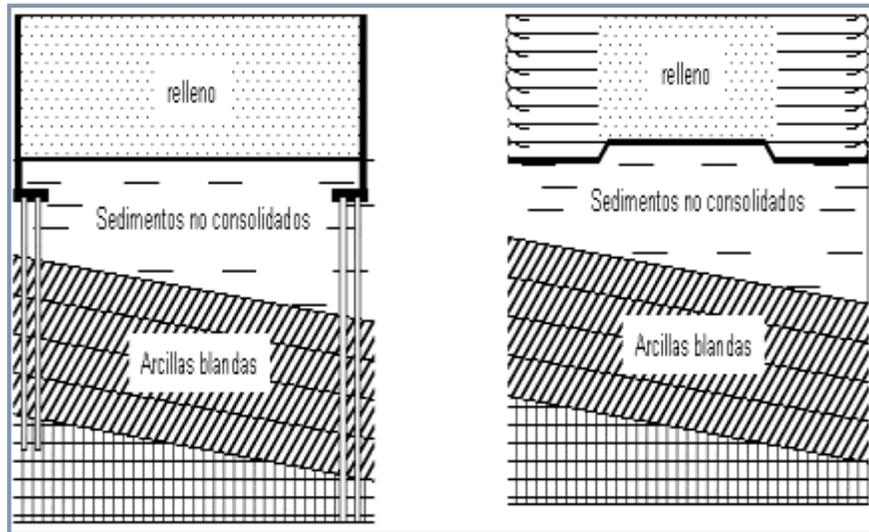
2.4.3. Aplicaciones de los taludes en suelo reforzado

Los taludes en suelo reforzado son sistemas de tierra mecánicamente reforzados, cuya inclinación es menor a 70° . Estas estructuras constituyen alternativas atractivas para casos en los que se requiere levantar rellenos de alta pendiente y de altura importante, dado que la mayoría de los taludes de estructuras térreas, conformados con suelos naturales, y laderas naturales, pueden presentar fenómenos de remoción en masa aun cuando estos sean de alta disponibilidad mecánica.

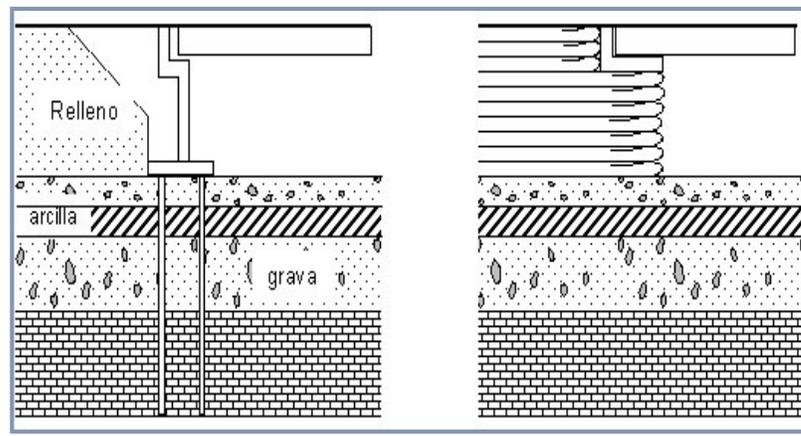
Figura 2.9. Aplicaciones de muros de contención con suelo mecánicamente estabilizado



Muros de contención



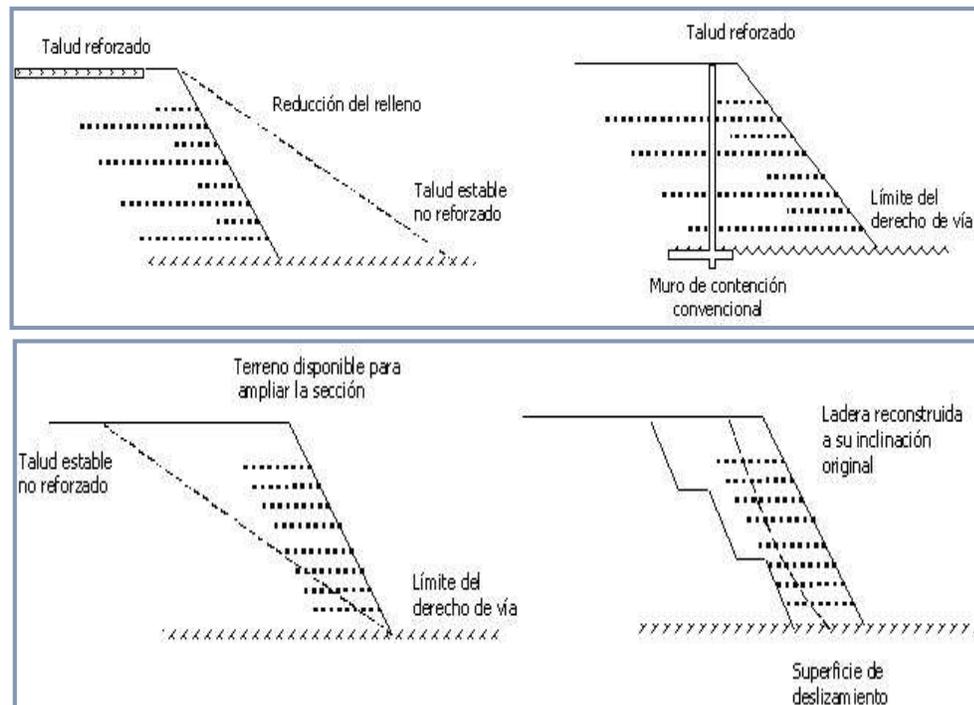
Rellenos sobre materiales blandos compresibles



Aproches y estribos en puentes

Fuente: Conceptos Básicos y Guía de Diseño.

Figura 2.10. Aplicación de taludes en suelo reforzado



Fuente: Conceptos Básicos y Guía de Diseño.

2.4.4. Concepto de suelo reforzado

Una masa de suelo reforzado es análoga a un concreto reforzado, en la que las propiedades mecánicas de la masa son mejoradas por el refuerzo colocado en forma paralela a la dirección de deformación principal, buscando compensar la deficiencia de resistencia a la tensión del suelo. El mejoramiento de la resistencia a la tensión es el resultado de la interacción entre el refuerzo y el suelo.

2.4.5. Interacción suelo-geosintético

Al colocar capas de geosintéticos en la masa de suelo se establece una relación, la transferencia de esfuerzo entre el suelo y el refuerzo se desarrolla en forma continua a lo largo de todo el refuerzo

Los refuerzos se distribuyen sobre toda la masa de suelo y no localmente

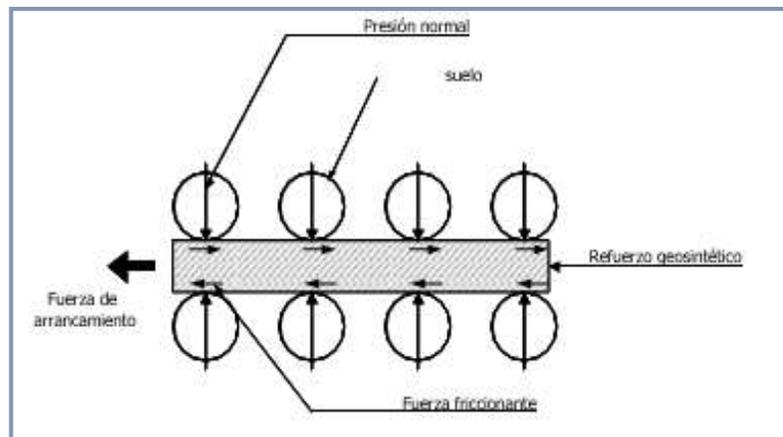
Los esfuerzos son transmitidos entre el geosintético y la masa de suelo por fricción o por resistencia pasiva, dependiendo de la geometría del elemento geosintético.

2.4.5.1. Fricción

Este mecanismo de interacción se desarrolla cuando hay un desplazamiento cortante relativo y es proporcional al esfuerzo cortante entre el suelo y la superficie del refuerzo. Los elementos de refuerzo donde la fricción es importante deben estar alineados con la dirección de desplazamiento relativo del suelo.

Los geotextiles de alto módulo Fortex derivan su aporte de refuerzo por este concepto fundamentalmente.

Figura 2.11. Tráferencia de esfuerzos por fricción entre el suelo y el geosintético

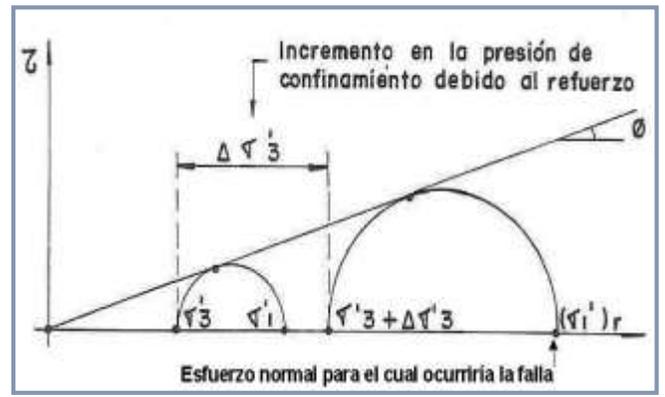


Fuente: Conceptos Básicos y Guía de Diseño.

2.5. Concepto geotécnico de refuerzo

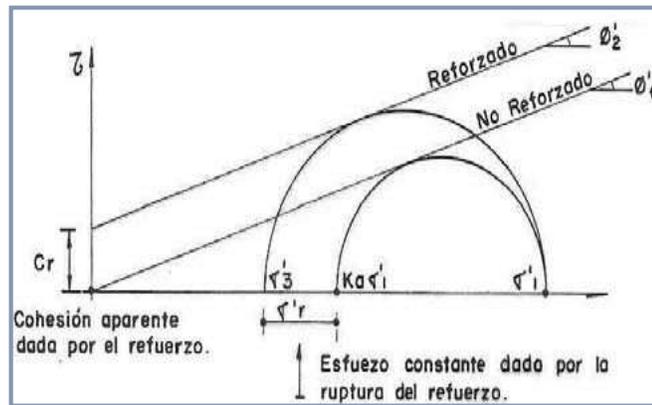
La presencia de un geosintético de refuerzo en el suelo restringe las deformaciones, generando una alta resistencia al corte en el conjunto, manifestada en el incremento de fuerzas resistentes a través de la superficie potencial de falla. En las figuras 12 y 13 se ilustran conceptos geotécnicos básicos a través de los cuales se valora el aporte de los geosintéticos como elementos de refuerzo.

Figura 2.12. Aumento de la resistencia al corte por incremento en la presión de confinamiento debido al refuerzo



Fuente: Conceptos Básicos y Guía de Diseño.

Figura 2.13. Aumento de la resistencia al corte por la cohesión aparente que genera el refuerzo geosintético



Fuente: Conceptos Básicos y Guía de Diseño.

El primer caso se interpreta como un incremento en la presión de confinamiento ocasionada por el tensionamiento del geosintético. El segundo, se interpreta como la generación de una cohesión anisotrópica que se da por cortante (fricción) y adhesión (resistencia pasiva) con el geosintético que ocasionan el desplazamiento de la envolvente de falla hacia arriba. En ambos casos, el incremento en la resistencia al corte es evidente. (DISEÑO)

2.5.1. Material granular

Se recomienda utilizar material de la mejor calidad disponible. La granulometría del material pétreo y su angularidad son fundamentales, pues a mayor fricción entre partículas, mayor interacción del geosintético con el agregado y por lo tanto mejor desempeño. El material pétreo o suelo se deberá colocar en capas de espesor no mayor a 20 cm y se deberá compactar como mínimo hasta lograr un peso unitario mayor o igual al 95% del máximo obtenido en la prueba de compactación Proctor. (INSTALACIÓN)

2.5.2. Mecanismos de falla de muros

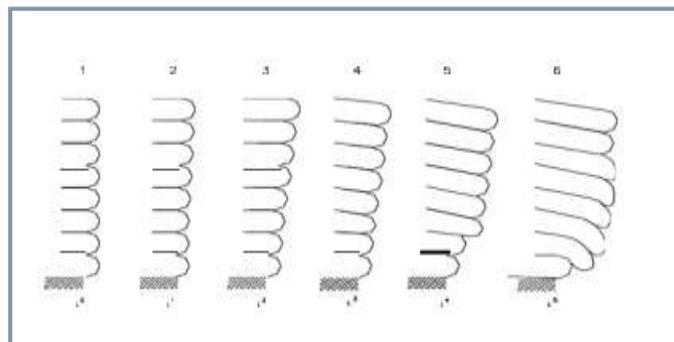
Los principales mecanismos de falla reportados en la literatura son los siguientes:

2.5.2.1. Fallas por estabilidad externa. - En la literatura se reportan una cantidad importante de muros MSE que han fallado por estabilidad externa. En este tipo de falla se incluyen las fallas por deslizamiento directo, volcamiento, capacidad de soporte y falla del talud general, incluyendo al muro.

En la mayoría de los muros reportados como fallados por estabilidad externa, la longitud del refuerzo era menor de $0.5H$.

Las fallas por capacidad de soporte también son comunes, debido a que los muros MSE concentran carga muy grande en áreas relativamente pequeñas.

Figura 2.14. Falla de un muro MSE por extensión y rotura de los refuerzos de acuerdo a Richardson y Lee (1975)



Fuente: Muros en suelo reforzado con geosintéticos.

2.5.2.2. Fallas por estabilidad interna

Las fallas por estabilidad interna incluyen dos tipos de falla.

En la falla por extensión y rotura de los refuerzos, inicialmente la parte superior del muro se mueve en forma relativamente lenta hacia fuera, y la deformación va desplazándose hacia abajo para producirse la falla “catastróficamente”

2.5.2.3. Falla por extracción de los refuerzos

Este tipo de falla es la menos común debido a la gran resistencia del conjunto suelo-refuerzo a la extracción de la lámina de geosintético.

En la falla por extracción de los refuerzos el movimiento inicial es más uniforme hacia afuera con una inclinación sobre la parte inferior del muro, con un comportamiento más dúctil.

En la falla por extracción de los refuerzos el movimiento inicial es más uniforme hacia afuera con una inclinación sobre la parte inferior del muro, con un comportamiento más dúctil. (Suárez-Díaz)

2.6. Metodología del dimensionamiento de muros en suelo mecánicamente estabilizado empleando el software Geosoft Pavco

Geosoft Pavco. - Fabricado en fabricantes en Colombia de geosintéticos varios módulos en lo que se puede utilizar los geosintéticos, en sí existen varios, pero uno de ellos es en muros de taludes en vía urbana.

¿Cómo conformar una estructura de contención?

Para realizar una apropiada implementación de una estructura de contención, es necesario tener en cuenta los factores geológicos y geotécnicos de las zonas de implantación.

Software desarrollado por el departamento de ingeniería para generar soluciones con geosintéticos PAVCO en las obras civiles, tales como:

- Muros en suelo reforzado.
- Sistemas de subdrenaje.
- Refuerzo de cimentaciones.
- Separación y estabilización de subrasantes.

- Refuerzo en vías empleando geomallas.
- Pavimentación y repavimentación.
- Documentos técnicos.

2.6.1. Muros en suelo mecánicamente estabilizado

Los muros en suelo reforzado son estructuras de contención flexibles, internamente estabilizadas por la inclusión de refuerzos con geosintéticos.

Estas estructuras reforzadas permiten conformar áreas planas y soportar empujes laterales, el principio de su funcionamiento es el de las estructuras de contención por gravedad.

Alternativas más económicas con respecto a otras alternativas, 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%. (poder utilizar los materiales térreos del sitio). (Perez Velez)

Características de muro

- Los muros en suelo reforzado son estructuras de contención flexibles.
- Mano de obra no calificada.
- Aumenta el área útil del lote.
- Aumento del ancho de la banca de la vía.
- Reducción del impacto ambiental en la obra.
- Mayor rendimiento en obra. Programación de obra.
- Disminución de costos finales del proyecto.
- Aumento del margen de rentabilidad para el constructor.

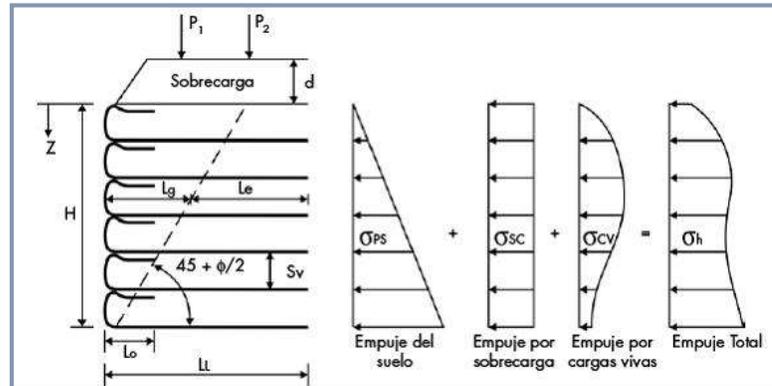
2.6.2. Metodología de diseño

Al incluir 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 friccionante desarrollado entre el geosintético y las capas de suelo adyacentes.

Fundamentada en los planteamientos propuestos por Whitcomb y Bell (1979).

Se asume que en la estructura no se presentan presiones hidrostáticas y que la superficie de falla activa es una superficie plana definida por la metodología rankine.

Figura 2.15. Conceptos de presión de suelos y teoría de muros con geosintéticos



Fuente: Manual y software de diseño GEOSOFT PAVCO.

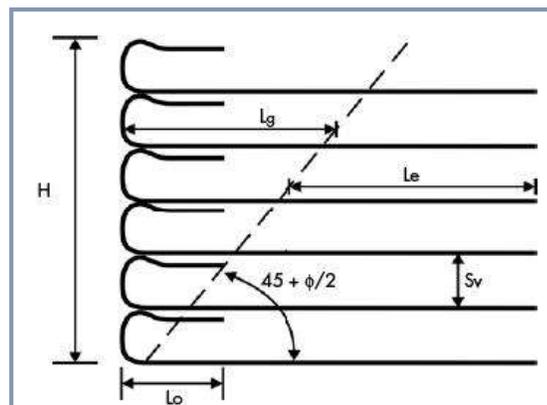
Consideraciones en el diseño:

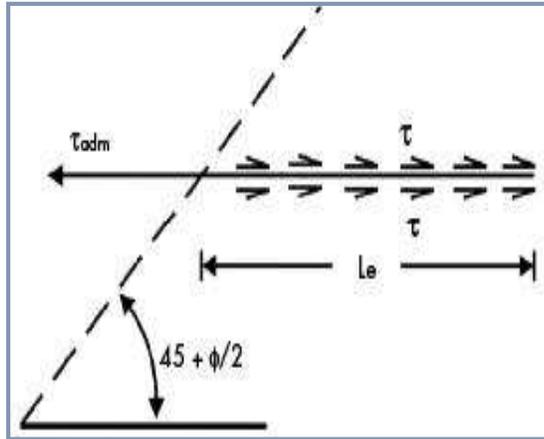
- Estabilidad interna.
- Estabilidad externa.
- Protección y drenaje.

2.6.3. Estabilidad interna. - Para determinar la separación entre capas del geotextil y la longitud a la que debe anclarse en la zona estable

Definir la cantidad de refuerzo que permita soportar mediante tensión y anclaje los empujes de tierra.

Figura 2.16. Determinación de la separación entre capas





Fuente: Manual y software de diseño GEOSOF T PAVCO.

Despiece de las capas

Determinación de las diferentes longitudes (L_e , L_r , L_o y L_t).

Cálculo de empujes:

$$sh = sh_s + sh_q + sh_v$$

sh_s = Esfuerzo horizontal debido al suelo de relleno.

sh_q = Esfuerzo horizontal generado por las cargas muertas sobre el muro.

sh_v = Esfuerzo horizontal debido a cargas vivas.

Cálculo del espesor

$$S_v = \frac{T_d}{Sh \times FS}$$

T_d = Tensión admisible del geotextil.

sh = Empuje lateral a la profundidad considerada.

FS = Factor de seguridad global. (usar entre 1.3 y 1.5).

Longitud de las capas de geotextil

$$L_g = (H - Z) \times \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) L_{\text{total}} = L_e + L_g$$

$$L_e = \frac{S_v \times S_h \times FS}{2 \times (c + \gamma \times Z \times \tan \delta)}$$

L_g = Longitud hasta la superficie de rankine

L_e = Longitud de empotramiento. Min 1m

δ = Ángulo de fricción entre el suelo y el geotextil.

2.6.4. Estabilidad externa:

Determinar la estabilidad al deslizamiento, al volcamiento y si los esfuerzos inducidos no superan la capacidad de soporte del suelo de fundación.

Estabilidad al deslizamiento.

Estabilidad al volcamiento.

Capacidad portante. (Perez Velez)

Información requerida

- Altura del muro, ángulo de inclinación cara del muro.
- Cargas Externas debidas a vehículos, acopios, zapatas de muros o columnas.
- Datos del suelo de relleno y fundación.

f = Ángulo de fricción interna del suelo.

g = Peso unitario del suelo.

c = Cohesión del suelo.

- Características de compactación del material de relleno. (Perez Velez)

CAPÍTULO III

“RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DEL ESTUDIO”

3.1. Ubicación de la zona de estudio

La ubicación del proyecto se encuentra en el País de Bolivia Departamento de Tarija.

El municipio ocupa toda la provincia Cercado del departamento, tiene una superficie de 2638,0 Km², limita al norte y al oeste con la provincia Méndez, al sur con la provincia Avilés y al este con la provincia Arce.

Los taludes a analizar son diez (10) los cuales se encuentran en Tarija Cercado de la mancha urbana de la ciudad.

Talud 1.- Gallinazo subida a San Jacinto.

Talud 2.- Barrio Bartolomé Attard.

Talud 3.- Barrio Aranjuez (1).

Talud 4.- Barrio Aranjuez (2).

Talud 5.- Barrio Aranjuez (3).

Talud 6.- Barrio San Antonio (1).

Talud 7.- Barrio San Antonio (2).

Talud 8.- Barrio La loma.

Talud 9.- Barrio Mira Flores.

Talud 10.- Av. Integración.

Figura 3.1. Mapa Político de Bolivia



Fuente: Mapas Políticos.

Figura 3.2. Mapa Político de Tarija



Fuente: Mapas Políticos.

Figura 3.3. Ubicación de los taludes en la ciudad



Fuente: Google Earth.

La anotación de los taludes serán de esta manera V:H (Grados)

Talud 1.- Gallinazo subida a San Jacinto. - Se encuentra ubicado a una latitud: $21^{\circ}33'0.52''S$ y longitud: $64^{\circ}44'5.43''O$, a una elevación de 1895 metros y una inclinación de talud de 1:0,3 ($73,83^{\circ}$).

Talud 2.- Barrio Bartolomé Attard. - Se encuentra ubicado a una latitud: $21^{\circ}32'11.76''S$ y longitud: $64^{\circ}42'16.78''O$, a una elevación de 1884 metros y una inclinación de talud de 1:0,26 ($76,50^{\circ}$).

Talud 3.- Barrio Aranjuez (1). - Se encuentra ubicado a una latitud: $21^{\circ}31'20.63''S$ y longitud: $64^{\circ}45'20.16''O$, a una elevación de 1915 metros y una inclinación de talud de 1:0,32 ($72,26^{\circ}$).

Talud 4.- Barrio Aranjuez (2). - Se encuentra ubicado a una latitud: $21^{\circ}31'22.00''S$ y longitud: $64^{\circ}45'16.25''O$, a una elevación de 1907 metros y una inclinación de talud de 1:0,34 ($71,22^{\circ}$).

Talud 5.- Barrio Aranjuez (3). - Se encuentra ubicado a una latitud: $21^{\circ}31'40.67''S$ y longitud: $64^{\circ}44'57.96''O$, a una elevación de 1895 metros y una inclinación de talud de 1:0,21 ($78,14^{\circ}$).

Talud 6.- Barrio San Antonio (1). - Se encuentra ubicado a una latitud: $21^{\circ}31'53.42''S$ y longitud: $64^{\circ}44'59.42''O$, a una elevación de 1901 metros y una inclinación de talud de 1:0,31 ($72,78^{\circ}$).

Talud 7.- Barrio San Antonio (2). - Se encuentra ubicado a una latitud: $21^{\circ}31'52.15''S$ y longitud: $64^{\circ}44'58.63''O$, a una elevación de 1905 metros y una inclinación de talud de 1:0,28 ($74,36^{\circ}$).

Talud 8.- Barrio La Loma. - Se encuentra ubicado a una latitud: $21^{\circ}33'3.45''S$ y longitud: $64^{\circ}43'51.39''O$, a una elevación de 1896 metros y una inclinación de talud de 1:0,15 ($81,47^{\circ}$).

Talud 9.- Barrio Mira Flores. - Se encuentra ubicado a una latitud: $21^{\circ}33'3.45''S$ y longitud: $64^{\circ}43'51.39''O$, a una elevación de 1871 metros y una inclinación de talud de 1:0,36 ($70,20^{\circ}$).

Talud 10.- Av. Integración. - Se encuentra ubicado a una latitud: $21^{\circ}30'55.39''S$ y longitud: $64^{\circ}45'0.28''O$, a una elevación de 1896 metros y una inclinación de talud de 1:0,3 ($73,30^{\circ}$).

3.2. Características del área de estudio

3.2.1. Componentes del talud. - Teniendo reconocido los lugares a analizar, sacar las muestras de cada talud 5 kg del pie, 5 kg del medio y 5 kg de la cabeza de cada talud identificado anteriormente.

Con las muestras extraídas de suelo en los distintos lugares ya mencionados se llevó a laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho para establecer el análisis de caracterización de materiales.

Los ensayos realizados son las siguientes:

1. Contenido de humedad.
2. Peso específico.
3. Clasificación de suelos.
4. Corte directo.

Donde se extraerán 3 muestras de cada talud en el pie, medio y cabeza.

3.2.2. Descripción de cada talud

Talud 1.- Gallinazo subida a San Jacinto

Figura 3.4. Talud 1



Fuente: Elaboración propia.

Este talud está ubicado en el barrio German Bush carretera a San Jacinto llamado gallinazo, es una zona muy transitada en algunas épocas del año porque el lago San Jacinto es un lugar turístico de la ciudad de Tarija.

Forma geométrica. - El gallinazo tiene un ángulo de inclinación de 1:0,3 (73,83 grados), una altura de 10,0 metros.

Material y condiciones geológicas. - Es un suelo arcilla limosa muy suelto y en la cabeza del talud cuenta con vegetación en la cabeza del talud y con material granular en la cabeza donde será analizado como sobrecarga del talud.

Talud 2.- Barrio Bartolomé Attard

Figura 3.5. Talud 2



Fuente: Elaboración propia.

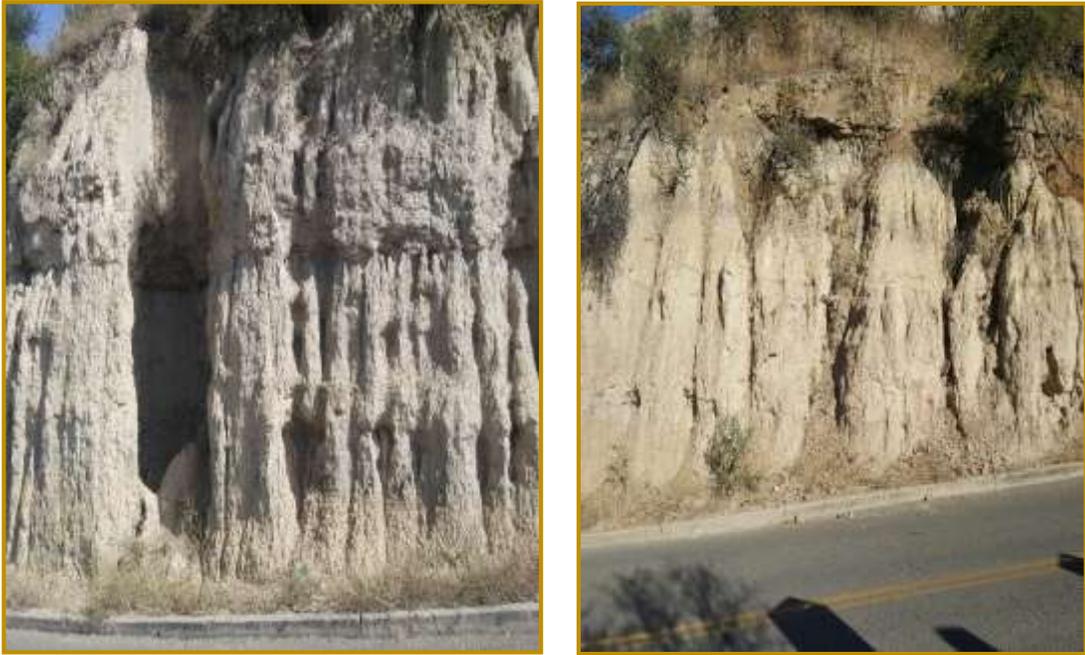
Este talud está ubicado en el barrio Bartolomé Attard de la ciudad de Tarija.

Forma geométrica. - El barrio Bartolomé Attard tiene un ángulo de inclinación de 1:0,26 (76,50 grados), una altura de 8,0 metros.

Material y condiciones geológicas. - Es un suelo arcilla inorgánica y en la cabeza del talud cuenta con vegetación de pastos en la parte superior del talud y con material granular en la cabeza donde será analizado como sobrecarga del talud.

Talud 3.- Barrio Aranjuez (1)

Figura 3.6. Talud 3



Fuente: Elaboración propia.

Este talud está ubicado en el barrio Aranjuez de la ciudad de Tarija subida al hotel los parrales.

Forma geométrica. - El barrio Aranjuez tiene un ángulo de inclinación de 1:0,32 (72,26 grados), una altura de 6,0 metros.

Material y condiciones geológicas. - Es un suelo arcilla inorgánica en la parte del pie y en medio y la cabeza del talud con presencia de arcilla limosa, cuenta con vegetación de pastos en la parte superior del talud y con material granular en la cabeza donde será analizado como sobrecarga del talud.

Talud 4.- Barrio Aranjuez (2)

Figura 3.7. Talud 4



Fuente: Elaboración propia.

Este talud está ubicado en el barrio Aranjuez de la ciudad de Tarija subida al hotel los parrales.

Forma geométrica. - El barrio Aranjuez tiene un ángulo de inclinación de 1:0,34 (71,22 grados), una altura de 5,0 metros donde se presenta posibles deslizamientos.

Material y condiciones geológicas. - Es un suelo arcilla inorgánica en la parte del pie y en medio y la cabeza del talud con presencia de arcilla limo arenoso, cuenta con vegetación de pastos en la parte superior del talud y con material granular en la cabeza donde será analizado como sobrecarga del talud.

Talud 5.- Barrio Aranjuez (3)

Figura 3.8. Talud 5



Fuente: Elaboración propia.

Este talud está ubicado en el barrio Aranjuez de la ciudad de Tarija subida al hotel los parrales.

Forma geométrica. - El barrio Aranjuez tiene un ángulo de inclinación de 1:0,21 (78,14 grados), una altura de 8,0 metros donde se presenta posibles deslizamientos.

Material y condiciones geológicas. - Es un suelo limo inorgánico de baja comprensibilidad en la parte del pie y el medio y la cabeza del talud con presencia de arcilla limosa, cuenta con vegetación de pastos en la parte superior del talud y con material granular en la cabeza donde será analizado como sobrecarga del talud.

Talud 6.- Barrio San Antonio (1)

Figura 3.9. Talud 6



Fuente: Elaboración propia.

Este talud está ubicado en el barrio San Antonio de la ciudad de Tarija.

Forma geométrica. - El barrio San Antonio tiene un ángulo de inclinación de 1:0,31 (72,78 grados), una altura de 6,0 metros donde se presenta posibles deslizamientos.

Material y condiciones geológicas. - Es un suelo arcilla limo arenoso en la parte del pie y el medio y la cabeza del talud con presencia de arcilla inorgánica, cuenta con vegetación de pastos en la parte superior del talud y con material granular en la cabeza donde será analizado como sobrecarga del talud.

Talud 7.- Barrio San Antonio (2)

Figura 3.10. Talud 7



Fuente: Elaboración propia.

Este talud está ubicado en el barrio San Antonio de la ciudad de Tarija.

Forma geométrica. - El barrio San Antonio tiene un ángulo de inclinación de 1:0,28 (74,36 grados), una altura de 5,5 metros donde se presenta posibles deslizamientos.

Material y condiciones geológicas. - Es un suelo arcilla limosa en la parte del pie y el medio y la cabeza del talud con presencia de arcilla inorgánica, cuenta con vegetación de pastos en la parte superior del talud y con material granular en la cabeza donde será analizado como sobrecarga del talud.

Talud 8.- Barrio La Loma

Figura 3.11. Talud 8



Fuente: Elaboración propia.

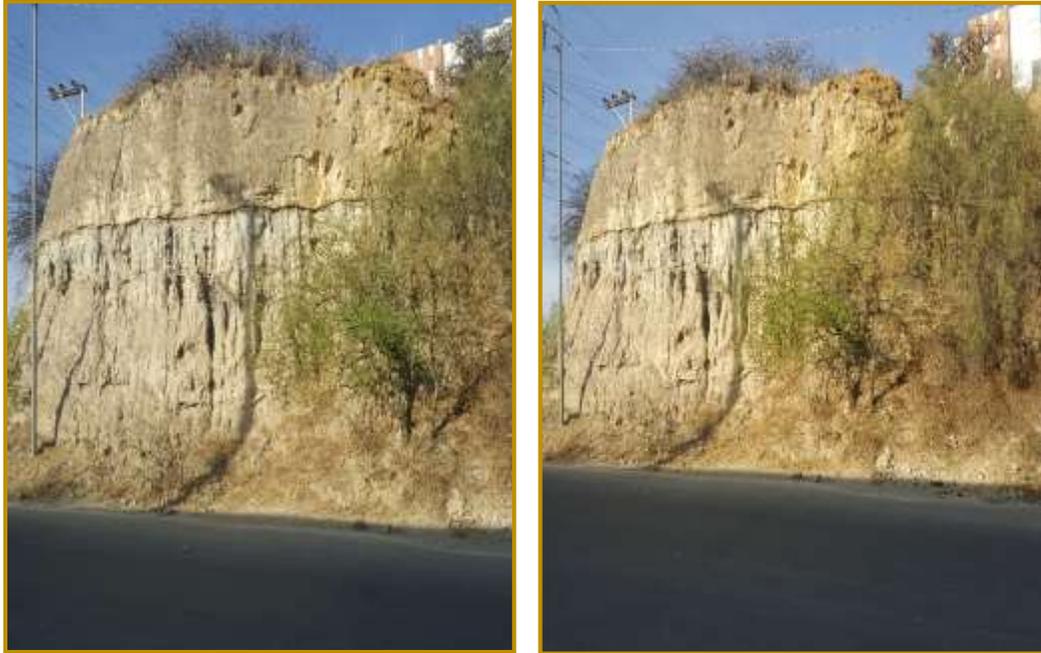
Este talud está ubicado en el barrio La Loma de la ciudad de Tarija.

Forma geométrica. - El barrio La Loma tiene un ángulo de inclinación de 1:0,15 (8,47 grados), una altura de 5,0 metros donde se presenta una casa encima del talud.

Material y condiciones geológicas. - Es un suelo arcilla inorgánica de baja plasticidad en la parte del talud, cuenta con vegetación de pastos en la parte superior del talud y con poca presencia de material granular en la cabeza donde será analizado como sobrecarga del talud.

Talud 9.- Barrio Mira Flores

Figura 3.12. Talud 9



Fuente: Elaboración propia

Este talud está ubicado en el barrio Mira Flores de la ciudad de Tarija.

Forma geométrica. - El barrio Mira Flores tiene un ángulo de inclinación de 1:0,36 (70,20 grados), una altura de 5,0 metros donde se presenta posibles deslizamientos.

Material y condiciones geológicas. - Es un suelo arcilla inorgánica de baja plasticidad en la parte del pie y medio del talud con presencia de limo inorgánico de baja compresibilidad en la parte de la cabeza de cuenta con vegetación de pastos en la parte superior del talud y con poca presencia de material granular en la cabeza donde será analizado como sobrecarga del talud.

Talud 10.- Av. Integración

Figura 3.13. Talud 10



Fuente: Elaboración propia.

Este talud está ubicado en la avenida integración de la ciudad de Tarija.

Forma geométrica. - Tiene un ángulo de inclinación de 1:0,3 (73,30 grados), una altura de 9,0 metros donde presenta posibles deslizamientos.

Material y condiciones geológicas. - Es un suelo arcilla limosa en la parte del pie y medio del talud con presencia de limo inorgánico de baja comprensibilidad en la parte de la cabeza de cuenta con vegetación de pastos en la parte superior del talud y con poca presencia de material granular en la cabeza donde será analizado como sobrecarga del talud.

3.2.3. Exploración de suelos y técnicas de muestreo

El suelo es la base para el establecimiento de cualquier proyecto de construcciones civiles. Antes de establecerse cualquier uso del suelo es necesario conocer sus características, se debe evaluar las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del suelo.

Donde primero se localiza el área donde se extraerá la muestra de suelo que representa las características del material, para realizar su respectiva caracterización en el laboratorio. En este proyecto se eligió 10 taludes dentro de la ciudad de Tarija y extracción de muestra en cada talud, pie, medio, cabeza.

Textura: Las texturas de las muestras extraídas en cada talud tiene que ser parecidas, ya que se trata de un mismo talud.

Color: La muestra extraída depende del suelo de cada talud puede ser orgánico o inorgánico.

Materiales y herramientas: Se recomienda que los materiales y herramientas utilizadas en el muestreo se encuentren limpios y libres de contaminantes que afecten la muestra tomada.

1. Primero se localiza el lugar del cual se extraerá la muestra que se necesite, una vez, encontrado se procede con la limpieza para facilitar la excavación y la extracción de la muestra.
2. Se procede a iniciar la extracción de muestra donde se usará una pala, a medida que se avance se usará el pico y conforme se presente el suelo.
3. Donde se utilizará bolsas limpias de yute o negras de nailon para la extracción.
4. Marcador de tinta o masquin para identificar las muestras de suelo.
5. Cinta métrica o wincha para medir las alturas y longitudes del talud.

Instrucciones del muestro

6. Extraer las muestras necesarias del pie, medio y cabeza del talud.
7. Con la picota se realizará una excavación de aproximadamente de 30 a 40 cm de profundidad para extraer la muestra.

8. Se recogerá la muestra con la pala sin contaminar con otro tipo de material, y se las depositaran en las bolsas.
9. Con cinta o masquin se identifican en la bolsa con la muestra extraída de cada parte del talud.

Figura 3.14. Realización de la extracción de material



Fuente: Elaboración propia.

En cada talud nombrado anteriormente se sacó medidas de longitud, altura y ángulos con ayuda de una cinta métrica o flexómetro y con una pala se extrajo la muestra de suelo del pie del talud, del medio y cabeza del talud para llevar al laboratorio y analizarlo.

3.3. Características de los materiales

3.3.1. Ensayos de laboratorio

Las muestras sacadas de los taludes nombrado anteriormente se realizarán los siguientes ensayos:

- Contenido de humedad.
- Peso específico de los suelos (ASTM D854).
- Granulometría de suelos (ASTM D422).
- Límites de atterberg (ASTM D4318).
- Clasificación de suelos.
- Resistencia al corte directo (ASTM D3080).

3.3.2. Contenido de humedad

El contenido de humedad de una masa de suelo, está formado por la suma de sus aguas libre, capilar e higroscópica.

El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en laboratorio, es por medio del secado a horno, donde la humedad de un suelo es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas.

Objetivo. -

Determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo

Los materiales que se usaron son los siguientes:

- Recipientes para humedad (taras de lata con tapa)
- Balanza de precisión de 0,01 gr
- Balanza de precisión de 0,1 gr
- Horno con regulador de temperatura (105 a 110°C)

Figura 3.15. Realización de contenido de humedad



Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en ANEXO 1

3.3.2.1. Resultado de contenido de humedad de los 10 taludes

Tabla 3.1. Contenido de humedad de los 10 taludes

Taludes	Contenido de humedad (%)	Taludes	Contenido de humedad (%)
Talud 1 pie	2,21	Talud 6 pie	3,11
Talud 1 medio	2,25	Talud 6 medio	3,14
Talud 1 cabeza	2,23	Talud 6 cabeza	3,16
Talud 2 pie	2,91	Talud 7 pie	2,96
Talud 2 medio	2,83	Talud 7 medio	2,94
Talud 2 cabeza	2,32	Talud 7 cabeza	2,90
Talud 3 pie	1,94	Talud 8 pie	2,46
Talud 3 medio	1,91	Talud 8 medio	2,43
Talud 3 cabeza	2,01	Talud 8 cabeza	2,47
Talud 4 pie	2,18	Talud 9 pie	2,56
Talud 4 medio	2,19	Talud 9 medio	2,59
Talud 4 cabeza	2,15	Talud 9 cabeza	2,60
Talud 5 pie	3,41	Talud 10 pie	2,48
Talud 5 medio	3,35	Talud 10 medio	2,43
Talud 5 cabeza	3,40	Talud 10 cabeza	2,49

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Peso específico

El peso específico relativo o gravedad específica de un suelo se toma como el valor promedio para los granos del suelo. Este valor es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo, se utiliza también en el análisis de hidrómetro y es útil para predecir el peso unitario de un suelo.

Objetivo. -

El objetivo principal del ensayo es determinar el peso específico relativo de un suelo compuesto por partículas menores a 5 mm.

Los materiales que se usaron son los siguientes:

- Frasco volumétrico, con marca de enrase. Con curva de calibración
- Termómetro con aproximación con 0,01°C

- Balanza con aproximación de 0,01 o 0,1 gramos
- Accesorios para baño maría
- Pipeta
- Hielo
- Muestra de suelo.

Figura 3.16. Realización de peso específico



Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en ANEXO 1

3.3.3.1. Resultado del peso específico de los 10 taludes

Tabla 3.2. Peso específico de los 10 taludes

Taludes	Peso específico (gr/cm³)	Peso específico promedio
Talud 1 pie	2,72	2,72
Talud 1 medio	2,73	
Talud 1 cabeza	2,70	
Talud 2 pie	2,67	2,67
Talud 2 medio	2,66	
Talud 2 cabeza	2,68	
Talud 3 pie	2,69	2,71
Talud 3 medio	2,73	
Talud 3 cabeza	2,72	
Talud 4 pie	2,71	2,70
Talud 4 medio	2,70	
Talud 4 cabeza	2,69	
Talud 5 pie	2,65	2,68
Talud 5 medio	2,66	
Talud 5 cabeza	2,72	

Taludes	Peso específico (g/cm³)	Peso específico promedio
Talud 6 pie	2,73	2,72
Talud 6 medio	2,74	
Talud 6 cabeza	2,68	
Talud 7 pie	2,70	2,70
Talud 7 medio	2,73	
Talud 7 cabeza	2,67	
Talud 8 pie	2,68	2,66
Talud 8 medio	2,66	
Talud 8 cabeza	2,65	
Talud 9 pie	2,66	2,70
Talud 9 medio	2,67	
Talud 9 cabeza	2,76	
Talud 10 pie	2,75	2,72
Talud 10 medio	2,74	
Talud 10 cabeza	2,68	

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Granulometría

Se denomina granulometría, a la medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Objetivo. -

Obtener el porcentaje de material que pasa cada tamiz de la serie de tamices estándar y graficar una curva granulométrica para establecer la distribución de los tamaños de los granos presentes en una masa de suelo.

Los materiales que se usaron son los siguientes:

- Muestra de suelo.
- Serie de tamices.
- Balanza de 0,1 y 0,01 gramos de aproximación.
- Otros accesorios, bandejas, cucharas, plato, etc.

Figura 3.17. Realización de la granulometría por método de lavado





Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en ANEXO 1

3.3.4.1. Resultado de granulometría de los 10 taludes

Tabla 3.3. Granulometría Talud 1

Talud 1	Pie	Medio	Cabeza
Tamaño (mm)	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total
75,000	100,00	100,00	100,00
50,000	100,00	100,00	100,00
37,500	100,00	100,00	100,00
25,000	100,00	100,00	100,00
19,000	100,00	100,00	100,00
12,500	100,00	100,00	100,00
9,500	100,00	100,00	100,00
4,750	100,00	100,00	100,00
2,000	99,83	99,91	99,90
0,425	98,63	98,62	98,95
0,150	91,86	91,46	91,70
0,075	86,54	84,95	85,35

Tabla 3.4. Granulometría Talud 2

Talud 1	Pie	Medio	Cabeza
Tamaño (mm)	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total
75,000	100,00	100,00	100,00
50,000	100,00	100,00	100,00
37,500	100,00	100,00	100,00
25,000	100,00	100,00	100,00
19,000	100,00	100,00	100,00
12,500	100,00	100,00	100,00
9,500	100,00	100,00	100,00
4,750	100,00	100,00	100,00
2,000	99,93	99,91	99,73
0,425	99,56	99,38	99,09
0,150	99,14	98,89	97,58
0,075	97,71	97,38	93,69

Tabla 3.5. Granulometría Talud 3

Talud 1	Pie	Medio	Cabeza
Tamaño (mm)	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total
75,000	100,00	100,00	100,00
50,000	100,00	100,00	100,00
37,500	100,00	100,00	100,00
25,000	100,00	100,00	100,00
19,000	100,00	100,00	96,76
12,500	100,00	100,00	96,08
9,500	100,00	99,59	95,01
4,750	99,46	98,84	92,35
2,000	99,28	96,68	91,33
0,425	97,62	98,53	89,94
0,150	91,53	90,30	84,09
0,075	82,62	81,87	74,14

Tabla 3.6. Granulometría Talud 4

Talud 1	Pie	Medio	Cabeza
Tamaño (mm)	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total
75,000	100,00	100,00	100,00
50,000	100,00	100,00	100,00
37,500	100,00	100,00	100,00
25,000	100,00	100,00	100,00
19,000	100,00	100,00	98,97
12,500	100,00	97,74	95,13
9,500	100,00	93,46	91,74
4,750	99,44	90,43	87,94
2,000	99,32	88,86	85,86
0,425	96,06	85,80	83,01
0,150	90,15	77,98	74,22
0,075	88,13	69,04	67,13

Tabla 3.7. Granulometría Talud 5

Talud 1	Pie	Medio	Cabeza
Tamaño (mm)	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total
75,000	100,00	100,00	100,00
50,000	100,00	100,00	100,00
37,500	100,00	100,00	100,00
25,000	100,00	100,00	100,00
19,000	100,00	100,00	100,00
12,500	100,00	100,00	100,00
9,500	100,00	100,00	99,46
4,750	99,68	99,55	98,34
2,000	98,57	98,63	96,68
0,425	93,17	92,58	92,47
0,150	79,29	79,99	84,62
0,075	71,50	72,15	76,16

Tabla 3.8. Granulometría Talud 6

Talud 1	Pie	Medio	Cabeza
Tamaño (mm)	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total
75,000	100,00	100,00	100,00
50,000	100,00	100,00	100,00
37,500	100,00	100,00	100,00
25,000	100,00	100,00	100,00
19,000	100,00	100,00	100,00
12,500	100,00	100,00	100,00
9,500	99,14	99,30	99,70
4,750	98,65	98,52	99,51
2,000	89,24	92,29	99,24
0,425	77,39	81,26	91,29
0,150	67,99	69,24	81,56
0,075	61,25	60,32	74,68

Tabla 3.9. Granulometría Talud 7

Talud 1	Pie	Medio	Cabeza
Tamaño (mm)	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total
75,000	100,00	100,00	100,00
50,000	100,00	100,00	100,00
37,500	100,00	100,00	100,00
25,000	100,00	100,00	100,00
19,000	100,00	100,00	100,00
12,500	100,00	100,00	100,00
9,500	100,00	100,00	100,00
4,750	99,71	99,70	99,88
2,000	99,57	99,61	99,52
0,425	97,61	97,56	97,30
0,150	91,66	90,44	90,49
0,075	83,77	80,31	90,14

Tabla 3.10. Granulometría Talud 8

Talud 1	Pie	Medio	Cabeza
Tamaño (mm)	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total
75,000	100,00	100,00	100,00
50,000	100,00	100,00	100,00
37,500	100,00	100,00	100,00
25,000	100,00	100,00	100,00
19,000	100,00	100,00	100,00
12,500	100,00	100,00	100,00
9,500	100,00	100,00	100,00
4,750	100,00	100,00	99,91
2,000	99,93	99,91	99,70
0,425	98,44	98,23	98,57
0,150	93,69	94,02	92,73
0,075	85,07	86,78	83,81

Tabla 3.11. Granulometría Talud 9

Talud 1	Pie	Medio	Cabeza
Tamaño (mm)	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total
75,000	100,00	100,00	100,00
50,000	100,00	100,00	100,00
37,500	100,00	100,00	100,00
25,000	100,00	100,00	100,00
19,000	100,00	100,00	100,00
12,500	100,00	100,00	100,00
9,500	100,00	100,00	100,00
4,750	100,00	100,00	99,41
2,000	99,84	99,80	99,21
0,425	98,92	98,38	94,59
0,150	96,52	95,22	85,86
0,075	90,21	89,50	75,07

Tabla 3.12. Granulometría Talud 10

Talud 1	Pie	Medio	Cabeza
Tamaño (mm)	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total
75,000	100,00	100,00	100,00
50,000	100,00	100,00	100,00
37,500	100,00	100,00	100,00
25,000	100,00	100,00	100,00
19,000	100,00	100,00	100,00
12,500	100,00	100,00	100,00
9,500	100,00	100,00	100,00
4,750	99,58	99,47	100,00
2,000	99,40	99,43	99,38
0,425	96,22	97,37	99,16
0,150	83,30	89,34	89,55
0,075	77,07	79,34	75,47

Fuente: Elaboración propia.

3.3.5. Límites de atterberg

Los límites de atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, aunque su comportamiento varío lo largo del tiempo.

Límite líquido (LL). - Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Para la determinación de este limite la cuchara de Casagrande. Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la cuchara de Casagrande o copa de Casagrande.

Límite plástico (LP). - Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico. Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado pero sencillo consistente en medir el contenido de humedad.

Objetivo. -

Determinar los límites de atterberg que presentan los suelos a consecuencia de los efectos que tiene la humedad en los mismos, estableciendo de esta manera los estados de consistencia del suelo.

Los materiales que se usaron son los siguientes:

Equipo común

- Tamiz N° 40
- Horno secador (105 a 110°C)
- Balanza de precisión de 0,01 gramos
- Platos u otros recipientes.

Límite líquido

- Equipo de Casagrande
- Ranurador
- Espátula
- 4 taras pequeñas.

Límite plástico

- 3 taras pequeñas

- Base de vidrio.

Figura 3.18. Procedimiento para límite líquido



Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en ANEXO 1

Figura 3.19. Procedimiento para límite plástico



Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en ANEXO

3.3.5.1. Resultado de límites de los 10 taludes

Tabla 3.13. Resultado de límites

Taludes	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
Talud 1 pie	27,38	20,44	6,94
Talud 1 medio	26,72	21,29	5,43
Talud 1 cabeza	29,00	22,22	6,78
Talud 2 pie	30,43	21,40	9,03
Talud 2 medio	30,36	21,02	9,34
Talud 2 cabeza	29,88	21,70	8,18
Talud 3 pie	21,63	12,40	9,23
Talud 3 medio	20,28	16,23	4,05
Talud 3 cabeza	22,58	18,12	4,46
Talud 4 pie	30,34	22,68	7,66
Talud 4 medio	31,56	19,94	11,62
Talud 4 cabeza	29,51	17,30	12,21
Talud 5 pie	28,55	24,85	3,70
Talud 5 medio	30,07	26,29	3,78
Talud 5 cabeza	28,75	21,74	7,01

Taludes	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
Talud 6 pie	22,82	18,70	4,12
Talud 6 medio	22,30	18,09	4,22
Talud 6 cabeza	22,30	14,63	8,79
Talud 7 pie	16,66	14,63	5,03
Talud 7 medio	21,42	15,85	5,56
Talud 7 cabeza	20,18	10,82	9,36
Talud 8 pie	31,62	22,07	9,55
Talud 8 medio	30,76	21,09	9,68
Talud 8 cabeza	31,82	21,84	9,97
Talud 9 pie	26,71	18,93	7,79
Talud 9 medio	27,80	19,57	8,24
Talud 9 cabeza	26,43	22,50	3,93
Talud 10 pie	24,81	20,29	4,52
Talud 10 medio	25,80	21,11	4,69
Talud 10 cabeza	29,17	20,86	8,31

Fuente: Elaboración propia.

3.3.6. Clasificación de suelos

La clasificación de suelos es una categorización del suelo basado en características distintivas y en criterios de uso. Una clasificación de suelos es muy dinámica, en sí misma, de la estructura, del sistema, las definiciones de clases, y finalmente en la aplicación en el campo.

Objetivo. -

Clasificar los suelos en grupos de comportamientos semejantes, con propiedades geométricas similares.

Los materiales que se usaron son los siguientes:

- Granulometría del suelo
- Plasticidad del suelo
- Tabla de clasificación del AASTHO
- Tabla de clasificación del SUCS
- Carta de plasticidad Para dar a conocer las propiedades de un suelo determinado, y adoptando los principios de la mecánica de suelo, se vio la necesidad de concretar una clasificación científica, basada en la granulometría y en la plasticidad.

Los dos sistemas principales de clasificación científica de suelos actualmente en uso son el sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y el S.U.C.S (Umified Soil Classificatio System). El primero se usa principalmente para la evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para la construcción cualitativa de explanadas de carreteras y el segundo es de uso general en cualquier estudio geotécnico.

3.3.6.1. Sistema de clasificación S.U.C.S (Umified Soil Classificatio System)

El sistema de S.U.C.S clasifica los suelos en base a su granulometría y los límites de Atterberg. A continuación, se muestra dicha clasificación, junto con los símbolos empleados en la misma, así como una descripción de las propiedades esperables de los grupos diferenciados.

Tabla 3.14. Clasificación, símbolos y descripción

Símbolo	Descripción
G	Grava o suelo gravoso
S	Arena o suelo arenoso
W	Bien graduado
C	Arcilla inorgánica
P	Mal graduado
M	Limo inorgánico o arena fina

Suelos que contienen arcillas que se consideran de media a alta plasticidad

Símbolo	Descripción
M	Limo inorgánico o arena muy fina
C	Arcilla
O	Limos, arcillas y mezclas con alto contenido de material orgánico
L	Baja a mediana comprensibilidad (LL<50%)
H	Alta comprensibilidad (LL>50%)

Fuente: Texto guía para el laboratorio (Mecánica de suelos I y laboratorio).

3.3.6.2. Sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

El tipo d suelo se clasifica en siete grupos mayores: A-1 al A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 Y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la malla Nro. 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la malla Nro. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 Y A-7.

3.3.6.3. Índice de grupo. - Es un factor de evaluación, que determina la calidad del suelo a través de características similares en grupos de suelos, el índice de grupo es muy importante en el diseño de espesores, inclusive un método lleva el mismo nombre.

Condicionando que cualquier factor que pudiese salir negativo, este se asume con el valor de cero.

3.3.6.4. Resultado clasificación de suelos

Tabla 3.15. Resultado de clasificación de suelos

Taludes	Clasificación AASTHO	Clasificación SUCS
Talud 1 pie	A-4 (8)	CL-ML
Talud 1 medio	A-4 (8)	CL-ML
Talud 1 cabeza	A-4 (8)	CL-ML
Talud 2 pie	A-4 (8)	CL
Talud 2 medio	A-4 (8)	CL
Talud 2 cabeza	A-4 (8)	CL
Talud 3 pie	A-4 (8)	CL
Talud 3 medio	A-4 (8)	CL-ML
Talud 3 cabeza	A-4 (8)	CL-ML
Talud 4 pie	A-4 (8)	CL
Talud 4 medio	A-6 (6)	CL
Talud 4 cabeza	A-6 (6)	CL
Talud 5 pie	A-4 (7)	ML
Talud 5 medio	A-4 (7)	ML
Talud 5 cabeza	A-4 (8)	CL-ML

Taludes	Clasificación AASTHO	Clasificación SUCS
Talud 6 pie	A-4 (5)	CL-ML
Talud 6 medio	A-4 (5)	CL-ML
Talud 6 cabeza	A-4 (8)	CL
Talud 7 pie	A-4 (8)	CL-ML
Talud 7 medio	A-4 (8)	CL-ML
Talud 7 cabeza	A-4 (8)	CL
Talud 8 pie	A-4 (8)	CL
Talud 8 medio	A-4 (8)	CL
Talud 8 cabeza	A-4 (8)	CL
Talud 9 pie	A-4 (8)	CL
Talud 9 medio	A-4 (8)	CL
Talud 9 cabeza	A-4 (8)	ML
Talud 10 pie	A-4 (8)	CL-ML
Talud 10 medio	A-4 (8)	CL-ML
Talud 10 cabeza	A-4 (8)	ML

Fuente: Elaboración propia.

3.3.7. Corte directo

La finalidad de los ensayos de corte, es determinar la resistencia de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga.

Para conocer una de estas resistencias en laboratorio se usa el aparato de corte directo, siendo el más típico una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con piedras porosas en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento (P_v) y luego una carga horizontal (P_h) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra.

Objetivo. -

Determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada, empleando el método de corte directo, para su aplicación en el diseño de obras civiles.

Los materiales que se usaron son los siguientes:

- **Dispositivo de carga**

Sostener la probeta con seguridad entre dos piedras porosas colocadas una en cada cara, de tal manera que no se presenten movimientos de torsión sobre ella.

Estar provisto de los dispositivos necesarios para:

- a) Aplicar una fuerza normal en las caras de la muestra.
- b) Determinar los cambios en el espesor de la muestra.
- c) Drenar el agua a través de las piedras porosas.
- d) Sumergir la muestra en el agua.
- e) Ser capaz de aplicar una fuerza de corte para hacer fallar la muestra a lo largo de un determinado plano.
- f) Los marcos que sostienen la probeta deben ser lo suficientemente rígidos para evitar su deformación durante el corte.

- **Caja de corte**

Cuadrada hecha de acero inoxidable, con aditamentos que permiten el drenado a través de la parte superior e inferior. La caja está dividida verticalmente por un

plano horizontal en dos mitades con el mismo espesor unido con unos tornillos de seguridad. La caja de corte es ajustada con los tornillos de seguridad.

- a) Piedras porosas.
- b) Dispositivo para la aplicación de la fuerza normal.
- c) Dispositivo para la aplicación de la fuerza de corte.
- d) Balanza.
- e) Horno de secado.
- f) Cronometro, sierra de alambre, espátula, cuchillos, enrasadores, agua destilada y demás elementos necesarios.

Figura 3.20. Procedimiento para corte directo

DISPOSITIVO
DE CARGA



CAJA DE CORTE
CON PIEDRAS
POROSAS





Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en ANEXO 1

3.3.7.1. Resultados de corte directo

Tabla 3.16. Resultados de corte directo

Taludes	Corte directo	
	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de fricción
Talud 1	0,12	24,00
Talud 2	0,12	29,00
Talud 3	0,12	20,00
Talud 4	0,11	25,00
Talud 5	0,11	26,00
Talud 6	0,14	20,00
Talud 7	0,12	29,00
Talud 8	0,12	28,00
Talud 9	0,11	24,00
Talud 10	0,12	26,00

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

“DISEÑO Y ANÁLISIS CON APLICACIÓN DEL SOFTWARE GEOSOFT PAVCO”

4.1. Parámetros de entrada

4.1.1. Los parámetros de entrada son los siguientes:

Muros en suelo mecánicamente estabilizado

a) Propiedades geomecánicas del suelo de relleno:

- Ángulo de fricción interna (ϕ)
- Cohesión (c)
- Peso unitario (γ)

b) Dimensiones geométricas del muro:

- Altura máxima (H)
- Base del muro (B)
- Inclinación talud sobre la corona del muro (β)
- Inclinación de la cara del muro (α)

c) Evaluación de cargas:

- Cargas uniformes sobre el muro (S_c)

4.1.2. Propiedades geomecánicas del suelo de relleno

Se recomienda para los materiales utilizados en la construcción de muros reforzados son de tendencia granular. Sin embargo, en varios casos se han construido muros reforzados con materiales que tienen más del 50% de suelo fino, el uso de altos porcentajes de suelo fino como material de construcción de muros depende de la tolerancia a la deformación que se permita

Para la determinación de las propiedades del suelo a usar en la construcción del muro, se plantea considerar los siguientes:

Estabilidad Interna

- Ángulo de fricción interna (ϕ):

Obtención del ángulo de fricción interna donde es una propiedad de los materiales donde es la resistencia al deslizamiento causada por la fricción que hay entre la superficie de contacto de las partículas, este parámetro se calculará mediante el ensayo de corte directo y el ángulo de fricción entre el suelo y el geotextil que varía entre el 70% y 80% del ángulo de fricción interna calculado.

- Cohesión (c):

La cohesión es una medida de adherencia entre partículas del suelo y es usada en mecánica de suelos para representar la resistencia al cortante, este parámetro se calculará mediante el ensayo de corte directo.

- Peso unitario (γ):

Este parámetro donde se determina en laboratorio haciendo uso de un frasco volumétrico con marca de enrase.

Tabla 4.1. Propiedades geomecánicas del suelo de relleno

Taludes	Parámetros de entrada					
	Cohesión c		Ángulo de fricción (grad)	Peso específico (γ)		Peso específico (γ) asumido
	(Kg/cm ²)	(Tn/m ²)		(gr/cm ³)	(Tn/m ³)	
Talud 1	0,12	1,2	24,00	2,72	2,72	2,20
Talud 2	0,12	1,2	29,00	6,67	6,67	2,20
Talud 3	0,12	1,2	20,00	2,71	2,71	2,20
Talud 4	0,11	1,1	25,00	2,70	2,70	2,20
Talud 5	0,11	1,1	26,00	2,68	2,68	2,20
Talud 6	0,14	1,4	20,00	2,72	2,72	2,20
Talud 7	0,12	1,2	29,00	2,70	2,70	2,20
Talud 8	0,12	1,2	28,00	2,66	2,66	2,20
Talud 9	0,11	1,1	24,00	2,70	2,70	2,20
Talud 10	0,12	1,2	26,00	2,72	2,72	2,20

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Dimensiones geométricas del muro

- Altura máxima (H)
- Base del muro (B)
- Inclinación talud sobre la corona del muro (β)
- Inclinación de la cara del muro (α)

Estos parámetros geométricos donde se determinará la altura máxima del talud donde serán medidos en los taludes estudiados ya mencionados anteriormente, la base del muro donde se optará por un 70 a 80% de la altura máxima del talud, la inclinación del talud sobre la corona del muro este parámetro será tomado constructivamente de 5 a 10 grados, el establecimiento de la inclinación de la cara del muro en relación con la horizontal se define 70 grados como la inclinación mínima para los muros de contención, de lo contrario el caso sería el de un terraplén o un talud, por construcción será 85 grados por seguridad al muro y al volcamiento.

Tabla 4.2. Datos del muro

Taludes	Parámetros de entrada			
	Altura máxima H (m)	Base del muro B (m)	Inclinación talud sobre la corona del muro β (grad)	Inclinación de la cara del muro α (grad)
Talud 1	10,00	7,50	10,00	85,00
Talud 2	8,00	5,70	8,00	85,00
Talud 3	6,00	5,30	10,00	85,00
Talud 4	5,00	4,20	10,00	85,00
Talud 5	8,00	6,00	8,00	85,00
Talud 6	6,00	5,30	10,00	85,00
Talud 7	5,50	4,40	10,00	85,00
Talud 8	5,00	4,00	10,00	85,00
Talud 9	5,00	4,20	10,00	85,00
Talud 10	9,00	6,80	8,00	85,00

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Factores de seguridad

Los factores que se mencionan a continuación son los factores mínimos recomendados por la AASHTO para el cálculo y diseño de muros en suelo reforzado.

Tabla 4.3. Factores de reducción para geotextiles en aplicaciones de separación y refuerzo

Área	Daños por instalación	Fluencia	Degradación Química/Biológica
	FR _{ID}	FR _{FL}	FR _{DQB}
Separación	1,1 a 2,5	1,5 a 2,5	1,0 a 1,5
Camino no pavimentados	1,1 a 2,0	1,5 a 2,5	1,0 a 1,6
Muros de contención	1,1 a 2,0	2,0 a 4,0	1,0 a 1,7
Terraplenes sobre suelos blandos	1,1 a 2,1	2,0 a 3,5	1,0 a 1,8
Fundaciones	1,1 a 2,2	2,0 a 4,0	1,0 a 1,9
Estabilización de taludes	1,1 a 1,5	2,0 a 3,0	1,0 a 1,5
Ferrocarriles	1,5 a 3,0	1,0 a 1,5	1,5 a 2,0

Fuente: Manual y software de diseño GEOSOFTE PAVCO.

Tabla 4.4. Factores de reducción para geomallas en aplicaciones de refuerzo

Área	Daños por instalación	Fluencia	Degradación Química/Biológica
	FR _{ID}	FR _{FL}	FR _{DQB}
Camino no pavimentados	1,1 a 1,6	1,5 a 2,5	1,0 a 1,6
Camino pavimentados	1,2 a 1,5	1,5 a 2,5	1,1 a 1,7
Terraplenes sobre suelos blandos	1,1 a 1,4	2,0 a 3,0	1,1 a 1,5
Estabilización de taludes	1,1 a 1,4	2,0 a 3,0	1,1 a 1,5
Muros de contención	1,1 a 1,4	2,0 a 3,0	1,1 a 1,5
Fundaciones	1,2 a 1,5	2,0 a 3,0	1,1 a 1,6

Fuente: Manual y software de diseño GEOSOFTE PAVCO.

4.1.5. Evaluación de cargas

- Cargas uniformes sobre el muro (S_c):

Las evaluaciones de cargas respectivos en los taludes estudiados donde la sobrecarga será el peso específico del talud por una profundidad del suelo de sobrecarga

Tabla 4.5. Evaluación de cargas

Taludes	Parámetros de cargas		
	Peso específico (γ) asumido	D (Profundidad del suelo de sobrecarga)	$S_c (\gamma \times D)$
	(Tn/m^3)	(m)	(Tn/m^2)
Talud 1	2,2	0,60	1,32
Talud 2	2,2	0,40	0,88
Talud 3	2,2	0,30	0,66
Talud 4	2,2	0,30	0,66
Talud 5	2,2	0,40	0,88
Talud 6	2,2	0,50	1,10
Talud 7	2,2	0,40	0,88
Talud 8	2,2	0,30	0,66
Talud 9	2,2	0,30	0,66
Talud 10	2,2	0,20	0,44

Fuente: Elaboración propia.

4.1.6. Parámetros para la estabilización externa

Para la determinación de las propiedades del suelo de fundación se debe tener en cuenta algunos aspectos:

- Es muy importante conocer las propiedades geotécnicas de los suelos de fundación, peso específico, cohesión del suelo, ángulo de fricción interna.
- Estas propiedades se obtuvieron de los taludes estudiados al pie de cada talud como parámetros de entrada.

Tabla 4.6. Propiedades geomecánicas del suelo de fundación

Taludes	Parámetros de entrada					
	Cohesión C		Ángulo de fricción (grad)	Peso específico (γ)		Peso específico (γ) asumido (Tn/m ³)
	(Kg/cm ²)	(Tn/m ²)		(gr/cm ³)	(Tn/m ³)	
Talud 1	0,12	1,2	24	2,72	2,72	2,2
Talud 2	0,12	1,2	29	6,67	6,67	2,2
Talud 3	0,13	1,3	24	2,71	2,71	2,2
Talud 4	0,12	1,2	26	2,70	2,70	2,2
Talud 5	0,20	2,0	42	2,68	2,68	2,2
Talud 6	0,11	1,1	25	2,72	2,72	2,2
Talud 7	0,12	1,2	26	2,70	2,70	2,2
Talud 8	0,12	1,2	28	2,66	2,66	2,2
Talud 9	0,11	1,1	24	2,70	2,70	2,2
Talud 10	0,12	1,2	26	2,72	2,72	2,2

Fuente: Elaboración Propia.

4.2. Procesamiento de datos

Diseño de muros en suelo mecánicamente estabilizado

Para el diseño de muros en suelo mecánicamente estabilizado se realizó una serie de pasos a realizar mediante forma manual y el software Geosoft Pavco donde sus parámetros ya fueron mencionados anteriormente, para el dimensionamiento los tipos de geosintéticos que se utilizó son los geosintéticos tejido y geomalla uniaxial coextruída.

4.2.1. Diseño de muros mediante el software Geosoft Pavco

4.2.1.1. Talud 1.- Gallinazo subida a San Jacinto

Paso Nro. 1:

- Después de haber colocado los datos del proyecto continuamos con la introducción de los datos de entrada que son los parámetros de diseño:
Propiedades geomecánicas del suelo de relleno. - (ángulo de fricción interna, cohesión, peso unitario).
Datos del muro. - (altura máxima, base del muro, inclinación talud sobre la corona del muro, inclinación de la cara del muro). Todos estos parámetros ya fueron descritos en parámetros de entrada, la dimensión de la base del muro en la mayoría de los casos se asume inicialmente el 70% y 80% de la altura máxima.
- Después de haber introducido todos los datos de entrada continuamos con la evaluación de cargas donde se colocará la carga uniforme sobre el muro (S_c), donde no incluirán cargas vehiculares ni cargas concentradas.
- Factores de seguridad. - Los factores de seguridad global y factor de seguridad por daños de instalación están estandarizados por el manual.
- Parámetros de interacción suelo-relleno. - Fricción entre el suelo a usarse en la construcción del muro y el geosintético donde este parámetro se puede tomar un valor de 70% y 85% del ángulo de fricción.

Figura 4.1. Parámetros de entrada análisis de estabilidad interna

Geosoft Pavco v3.0

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft PAVCO

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL SUELO DE RELLENO

Ángulo de Fricción interna: 24,0 grad

Cohesión C: 1,2 Ton/m²

Peso Unitario γ: 2,2 Ton/m³

DATOS DEL MURO

Altura Máxima H: 10,0 m

Base del Muro B: 7,5 m

Sugerir Base del muro

Inclinación Talud sobre la corona del Muro β: 10,0 grad

Inclinación de la Cara del Muro α: 85,0 grad

EVALUACIÓN DE CARGAS

Cargas Uniformes Sobre el Muro Sc: 1,32 Ton/m²

¿Desea incluir Cargas Vehiculares? SI NO

¿Desea incluir Cargas Concentradas? SI NO

FACTORES DE SEGURIDAD

Factor de Seguridad Global: 1,3

Factor de Seguridad por Daños de Instalación: 1,2

PARÁMETROS DE INTERACCIÓN SUELO - REFUERZO

Fricción entre el suelo a usarse en la construcción del muro y el geosintético δ_{TOT}: 19,2 grad

Fuente: Elaboración propia.

Paso Nro. 2:

- A continuar con el programa se debe introducir el geosintético a usar (geotextil, geomalla), en este caso se utilizará geomalla uniaxial, longitudes de diseño (longitud mínimo y longitud a usar) donde se adoptará 1,0 metro.
- Los factores de reducción del geotextil (factor de reducción por fluencia de material donde se adoptará 2,2), (factor de reducción por degradación química y biológica donde se adoptará 1,0).
- Los factores de reducción de la geomalla (factor de reducción por fluencia de material donde se adoptará 2,2), (factor de reducción por degradación química y biológica donde se adoptará 1,0).

Figura 4.2. Proceso de cálculo

Geosoft Pavco v3.0

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft® PAVCO

GEOSINTÉTICO A USAR

Geotextil Geomalla Ambos

LONGITUDES DE DISEÑO

L_e Mínimo 1,0 m

L_o a usar 1,0 m

FACTORES DE REDUCCIÓN GEOTEXTIL

Factor de Reducción por Fluencia de Material 2,2

Factor de Reducción por Degradación Química y Biológica 1,0

FACTORES DE REDUCCIÓN GEOMALLA

Factor de Reducción por Fluencia de Material 2,2

Degradación Química y Biológica 1,0

H

L_o

L_e

L

45°

Fuente: Elaboración propia.

Paso Nro. 3:

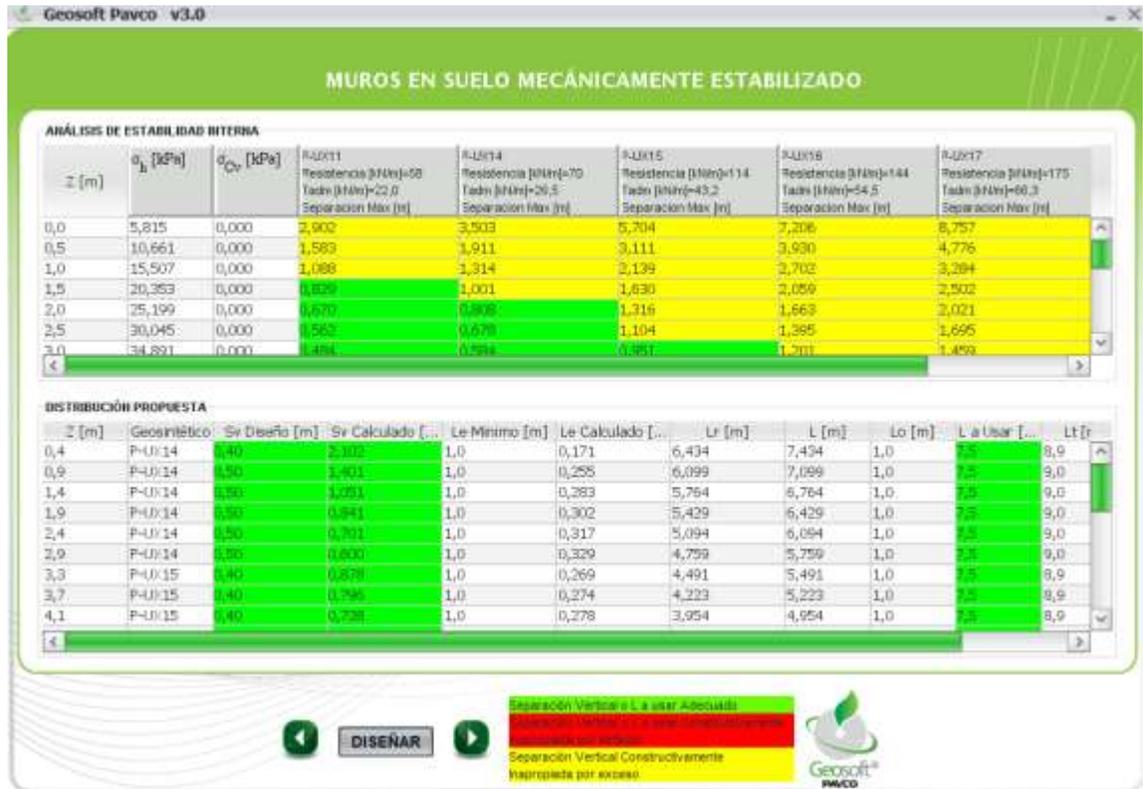
- En este paso se muestran los resultados de los cálculos realizados:
Análisis de estabilidad interna. - Donde se muestra σ_h (la presión lateral total en la profundidad total), que tendrá valores a diferentes profundidades (z) y σ_{cv} (presión debida a las cargas vivas), en este caso será cero.
- También se muestra las diferentes resistencias ultimas de los geotextiles donde se adecuará al tipo de suelo estudiado.
- Distribución de Propuesta. - Diseñar la separación vertical entre capas y las longitudes de desarrollo del geotextil para cada una de estas donde se observa en

la parte inferior del cuadro de resultados diferentes colores de tipos de separaciones donde se podrá modificar y el tipo de geotextil de acuerdo a las resistencias ultimas adecuadas que tendrá el tipo de suelo para el diseño del muro. Separación vertical o longitud a usar adecuado (color verde), donde estaría la separación correcta a diseñar.

Separación vertical o longitud a usar constructivamente inapropiada por defecto (color rojo), donde las resistencias del geotextil no son apropiadas con respecto al tipo de suelo y su resistencia.

Separación vertical constructivamente inapropiada por exceso (color amarillo), donde la resistencia ultima del geotextil excede a la resistencia del suelo estudiado.

Figura 4.3. Resultados análisis de estabilidad interna



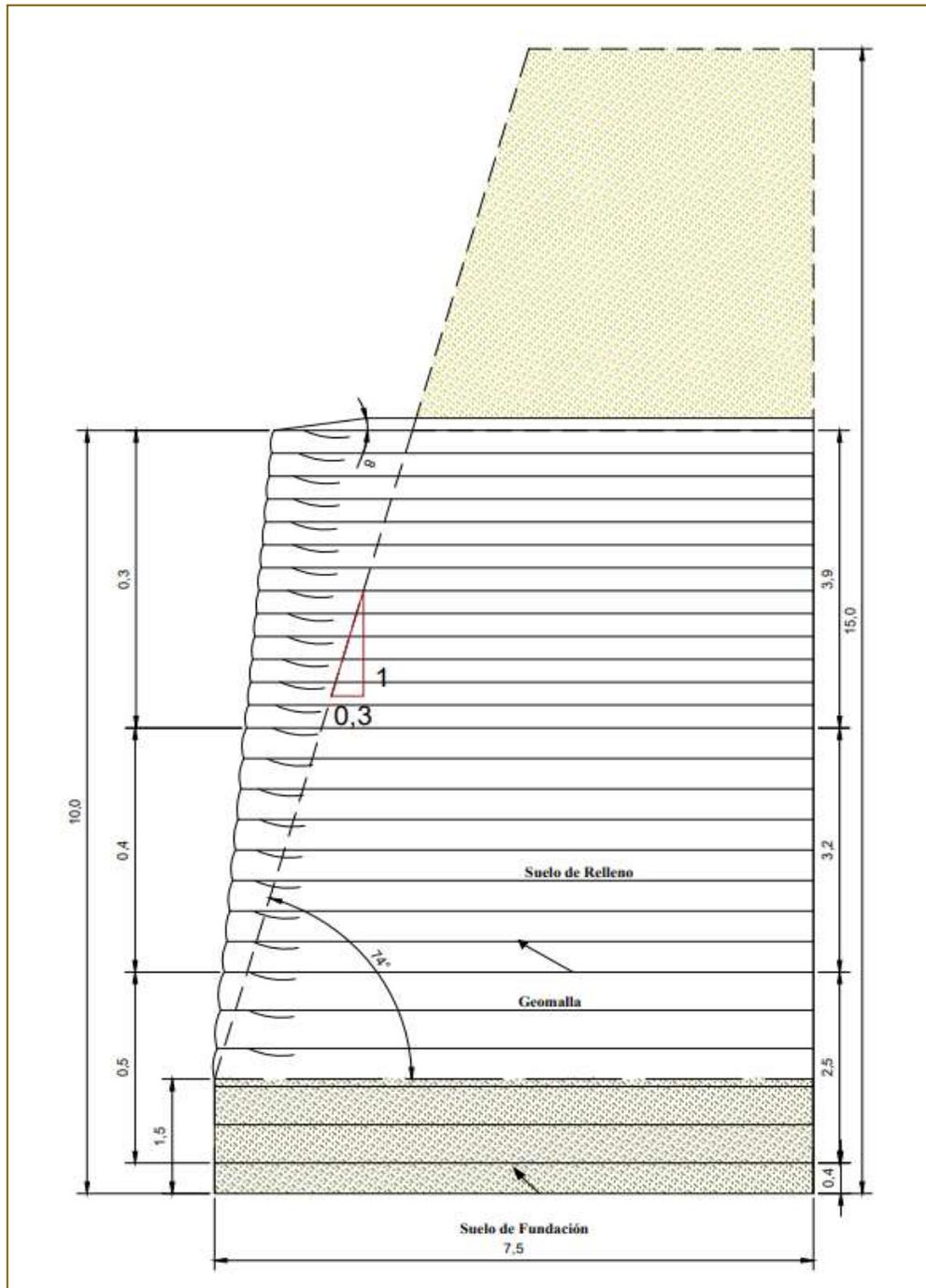
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.7. Diseño del muro

Z (m)	Geosintético	Sv Diseño (m)	Sv Calculado (m)	Le Mínimo (m)	Lr (m)	L (m)	Lo (m)	L a Usar (m)	Lt (m)	Fs×Sv
0,4	P-UX14	0,4	2,10	1,0	6,43	7,43	1,0	7,5	8,9	Cumple
0,9	P-UX14	0,5	1,40	1,0	6,10	7,10	1,0	7,5	9,0	Cumple
1,4	P-UX14	0,5	1,05	1,0	5,76	6,76	1,0	7,5	9,0	Cumple
1,9	P-UX14	0,5	0,84	1,0	5,43	6,43	1,0	7,5	9,0	Cumple
2,4	P-UX14	0,5	0,70	1,0	5,10	6,09	1,0	7,5	9,0	Cumple
2,9	P-UX14	0,5	0,60	1,0	4,76	5,76	1,0	7,5	9,0	Cumple
3,3	P-UX15	0,4	0,88	1,0	4,49	5,49	1,0	7,5	8,9	Cumple
3,7	P-UX15	0,4	0,80	1,0	4,22	5,22	1,0	7,5	8,9	Cumple
4,1	P-UX15	0,4	0,73	1,0	3,95	4,95	1,0	7,5	8,9	Cumple
4,5	P-UX15	0,4	0,67	1,0	3,69	4,69	1,0	7,5	8,9	Cumple
4,9	P-UX15	0,4	0,62	1,0	3,42	4,42	1,0	7,5	8,9	Cumple
5,3	P-UX15	0,4	0,58	1,0	3,15	4,15	1,0	7,5	8,9	Cumple
5,7	P-UX15	0,4	0,54	1,0	2,88	3,88	1,0	7,5	8,9	Cumple
6,1	P-UX15	0,4	0,51	1,0	2,61	3,61	1,0	7,5	8,9	Cumple
6,4	P-UX15	0,3	0,49	1,0	2,41	3,41	1,0	7,5	8,8	Cumple
6,7	P-UX15	0,3	0,47	1,0	2,21	3,21	1,0	7,5	8,8	Cumple
7,0	P-UX15	0,3	0,45	1,0	2,01	3,01	1,0	7,5	8,8	Cumple
7,3	P-UX15	0,3	0,43	1,0	1,81	2,81	1,0	7,5	8,8	Cumple
7,6	P-UX15	0,3	0,42	1,0	1,61	2,61	1,0	7,5	8,8	Cumple
7,9	P-UX15	0,3	0,40	1,0	1,41	2,41	1,0	7,5	8,8	Cumple
8,2	P-UX15	0,3	0,39	1,0	1,21	2,21	1,0	7,5	8,8	Cumple
8,5	P-UX15	0,3	0,38	1,0	1,01	2,01	1,0	7,5	8,8	Cumple
8,8	P-UX15	0,3	0,36	1,0	0,80	1,80	1,0	7,5	8,8	Cumple
9,1	P-UX15	0,3	0,35	1,0	0,60	1,60	1,0	7,5	8,8	Cumple
9,4	P-UX15	0,3	0,34	1,0	0,40	1,40	1,0	7,5	8,8	Cumple
9,7	P-UX15	0,3	0,33	1,0	0,20	1,20	1,0	7,5	8,8	Cumple
10,0	P-UX15	0,3	0,32	1,0	0,00	1,00	1,0	7,5	8,8	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4. Dimensiones del muro reforzado



Fuente: Elaboración propia.

Paso Nro. 4:

- Después de haber realizado el análisis de estabilidad interna en este paso se muestra el análisis de estabilidad externa donde se introducirá los datos del suelo de fundación (ángulo de fricción interna, cohesión, peso unitario). Donde este dato se tomará del pie del talud de cada talud estudiado.
- Así también los datos del suelo a confinar como material de relleno (ángulo de fricción interna, cohesión, peso unitario).
- Después de haber introducido todos los datos de suelo de fundación y del suelo a confinar continuamos con los factores de seguridad en condición estática donde en deslizamiento se adoptará 1,5 en condiciones estáticas, en volcamiento se adoptará 2,0 en condiciones estáticas, para capacidad portante se adoptará 3,0 en condiciones estáticas, en este diseño no se tomará en cuenta los factores de seguridad en condiciones dinámicas ni cargas dinámicas.
- Parámetros de interacción suelo-refuerzo. - Fricción entre el suelo de fundación y el geosintético donde este valor será tomado el 85% a 100% del ángulo de fricción del suelo de fundación.
- La profundidad de desplante de la cimentación (z) está en función a la altura máxima del muro en este caso será 1,5 m.

Figura 4.5. Parámetros de entrada análisis de estabilidad externa

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft® PAVCO

DATOS DEL SUELO DE FUNDACIÓN

Ángulo de Fricción Interna ϕ 24,0 grad

Cohesión C 1,2 Ton/m²

Peso Unitario γ 2,2 Ton/m³

FACTORES DE SEGURIDAD

	Condición Estática	Condición Dinámica
Deslizamiento \geq	1,5	1,125
Volcamiento \geq	2,0	1,5
Cap. Portante \geq	3,0	

DATOS DEL SUELO A CONFINAR

Ángulo de Fricción Interna ϕ 24,0 grad

Cohesión C 1,2 Ton/m²

Peso Unitario γ 2,2 Ton/m³

PARÁMETROS DE INTERACCIÓN SUELO - REFUERZO

Fricción entre el suelo de fundación y el geosintético δ_{APOT} 24,0 grad

Fricción entre el muro y el suelo a confinar δ_{SMO} 20,4 grad

OTROS

Tipo de Análisis Capacidad Portante: Drenado (Largo Plazo) No Drenado (Corto Plazo)

Profundidad de desplante de la cimentación (z) 1,5 m

CARGAS DINÁMICAS

Áceleraciones de Sismo

$k_h = 0,0$

$k_v = 0,0$

Fuente: Elaboración Propia.

Paso Nro. 5:

- En este paso se muestran los resultados de los cálculos realizados:
Análisis de estabilidad externa. - Donde se observa los coeficientes de presión lateral de tierra (K_a), valor de coeficiente de presión activa estático.
- También se muestra las diferentes resistencias de fuerzas resistentes, fuerzas actuantes y el factor de seguridad calculado como así también al deslizamiento y al volcamiento.
- Y por último la capacidad portante donde se revisa que la capacidad portante del terreno sea lo suficientemente competente para soportar las cargas producidas por la construcción del muro.

- La profundidad de cimentación debe tener un valor mínimo, con el fin de garantizar una estabilidad general de la estructura y al mismo tiempo la reducción de asentamientos debido a la carga del muro.

Figura 4.6. Proceso de cálculo y resultado análisis de estabilidad externa

The screenshot displays the Geosoft Pavco v3.0 software interface. The main title is "MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO". The interface is divided into several sections for data entry and results:

- COEFICIENTES DE PRESIÓN LATERAL DE TIERRA:**
 - Valor de coeficiente de Presión Activa Estático K_a : 0,449
 - Valor del coeficiente de Presión Activa Dinámico K_{aD} : 0,437
- CAPACIDAD PORTANTE:**
 - N_c : 19,32; σ_{ULT} [kPa]: 1.302,08
 - N_q : 9,5; $\sigma_{aplicado}$ [kPa]: 432,01
 - N_f : 8,44; F.S.: 3,01
 - Observación: Cumple
 - Eccentricidad [m]: 1,11; Observación: Cumple
- ESTABILIDAD AL DESLIZAMIENTO:**

	Condición Estática	Observación	Condición Dinámica	Observación
Σ Fuerzas Resistentes [kN]	905,94		905,94	
Σ Fuerzas Actuantes [kN]	542,74		528,03	
Factor Seguridad Calculado	1,67	Cumple	1,72	Cumple
- ESTABILIDAD AL VOLCAMIENTO:**

	Condición Estática	Observación	Condición Dinámica	Observación
Σ Momentos Resistentes [kN*m]	6.431,94		6.431,94	
Σ Momentos Actuantes [kN*m]	1.906,07		1.854,4	
Factor Seguridad Calculado	3,37	Cumple	3,47	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Paso Nro. 6:

- Luego de realizar todo el análisis tanto como análisis de estabilidad interna e externa, el programa con el que generamos el reporte de todo lo trabajado, este reporte nos muestra los datos introducidos y los resultados que obtuvimos.

4.2.1.2. Talud 2.- Barrio Bartolomé Attard

- Parámetro de entrada de las propiedades geomecánicas del suelo de relleno donde ya se mencionó con una altura de 8,0 metros, dando así una base adecuada de 5,7 metros teniendo en cuenta los factores de seguridad adecuado.

Figura 4.7. Parámetros de entrada análisis de estabilidad interna

Geosoft Pavco v3.0

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft PAVCO

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL SUELO DE RELLENO

Ángulo de Fricción interna ϕ 29,0 grad

Cohesión C 1,2 Ton/m²

Peso Unitario γ 2,2 Ton/m³

DATOS DEL MURO

Altura Máxima H 8,0 m

Base del Muro B 5,7 m

Sugerir Base del muro

Inclinación Talud sobre la corona del Muro β 8,0 grad

Inclinación de la Cara del Muro α 85,0 grad

EVALUACIÓN DE CARGAS

Cargas Uniformes Sobre el Muro ζ_c 0,88 Ton/m²

¿Desea incluir Cargas Vehiculares? SI NO

¿Desea incluir Cargas Concentradas? SI NO

FACTORES DE SEGURIDAD

Factor de Seguridad Global 1,3

Factor de Seguridad por Daños de Instalación 1,2

PARÁMETROS DE INTERACCIÓN SUELO - REFUERZO

Fricción entre el suelo a usarse en la construcción del muro y el geosintético δ_{SGT} 23,2 grad

Fuente: Elaboración propia.

- Para este paso se usará ambos geotextiles si es conveniente, la longitud mínima de empalme de diseño es de 1,0 metro, y los factores de reducción del para ambos del geotextil y geomalla mencionados en una tabla anteriormente.

Figura 4.8. Proceso de cálculo

Geosoft Pavco v3.0

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft® PAVCO

GEOSINTÉTICO A USAR

Geotextil Geomalla Ambo

LONGITUDES DE DISEÑO

L_e Mínimo 1,0 m

L_o a usar 1,0 m

FACTORES DE REDUCCIÓN GEOTEXTIL

Factor de Reducción por Fluencia de Material 2,2

Factor de Reducción por Degradación Química y Biológica 1,0

FACTORES DE REDUCCIÓN GEOMALLA

Factor de Reducción por Fluencia de Material 2,2

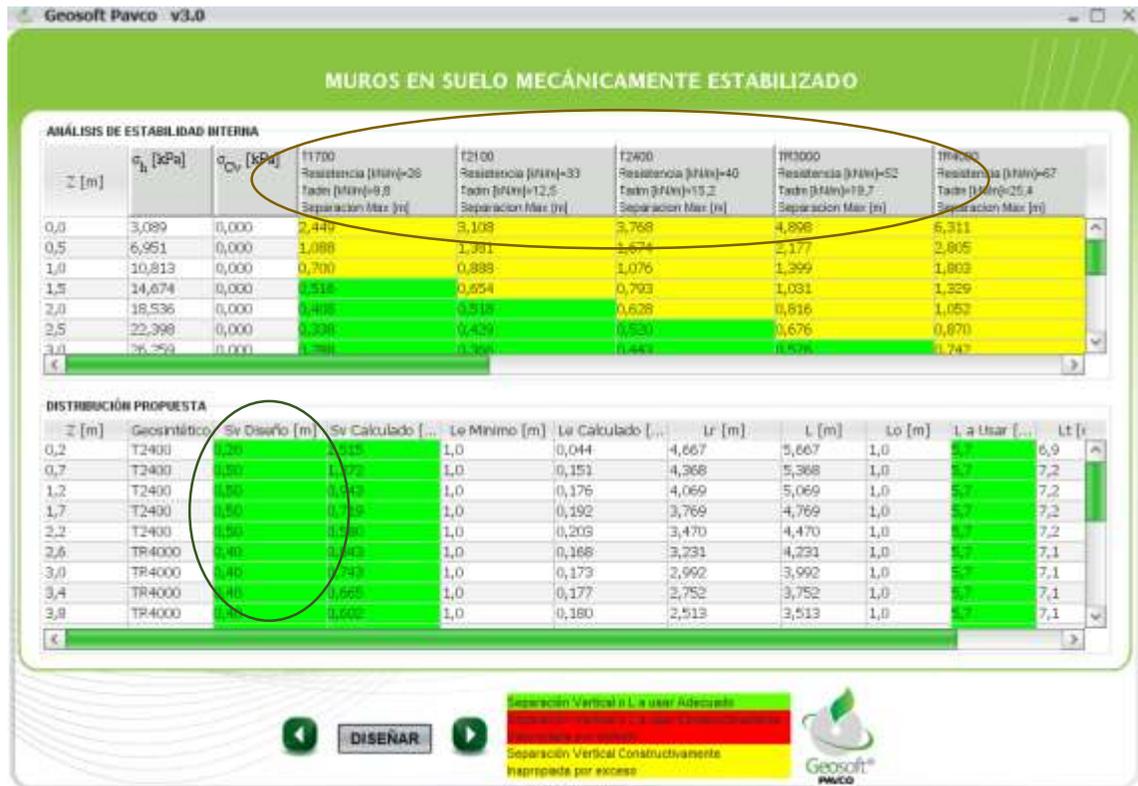
Degradación Química y Biológica 1,0

Diagrama de diseño que muestra la altura H , la longitud de diseño L_o , la longitud efectiva L_e , y el ángulo de inclinación $45^\circ \times D/2$.

Fuente: Elaboración propia.

- En la distribución de análisis de estabilidad interna donde se muestra las diferentes resistencias ultima del geotextil, donde se tomará la resistencia de acuerdo a los parámetros de resistencia del suelo donde se adecuará al tipo del geotextil o geomalla.

Figura 4.9. Resultados análisis de estabilidad interna



Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se muestra la distribución propuesta, las separaciones verticales son adecuados a usar de acuerdo a los diferentes tipos de geosintéticos.
- Las longitudes de empotramiento y de anclaje o de doblaje que será de un 1,0 metro como mínimo.
- Debido a que no solo se debe garantizar la estabilidad interna del muro sino también la estabilidad externa, la longitud total a usar en los refuerzos será al 80% de la altura del muro.

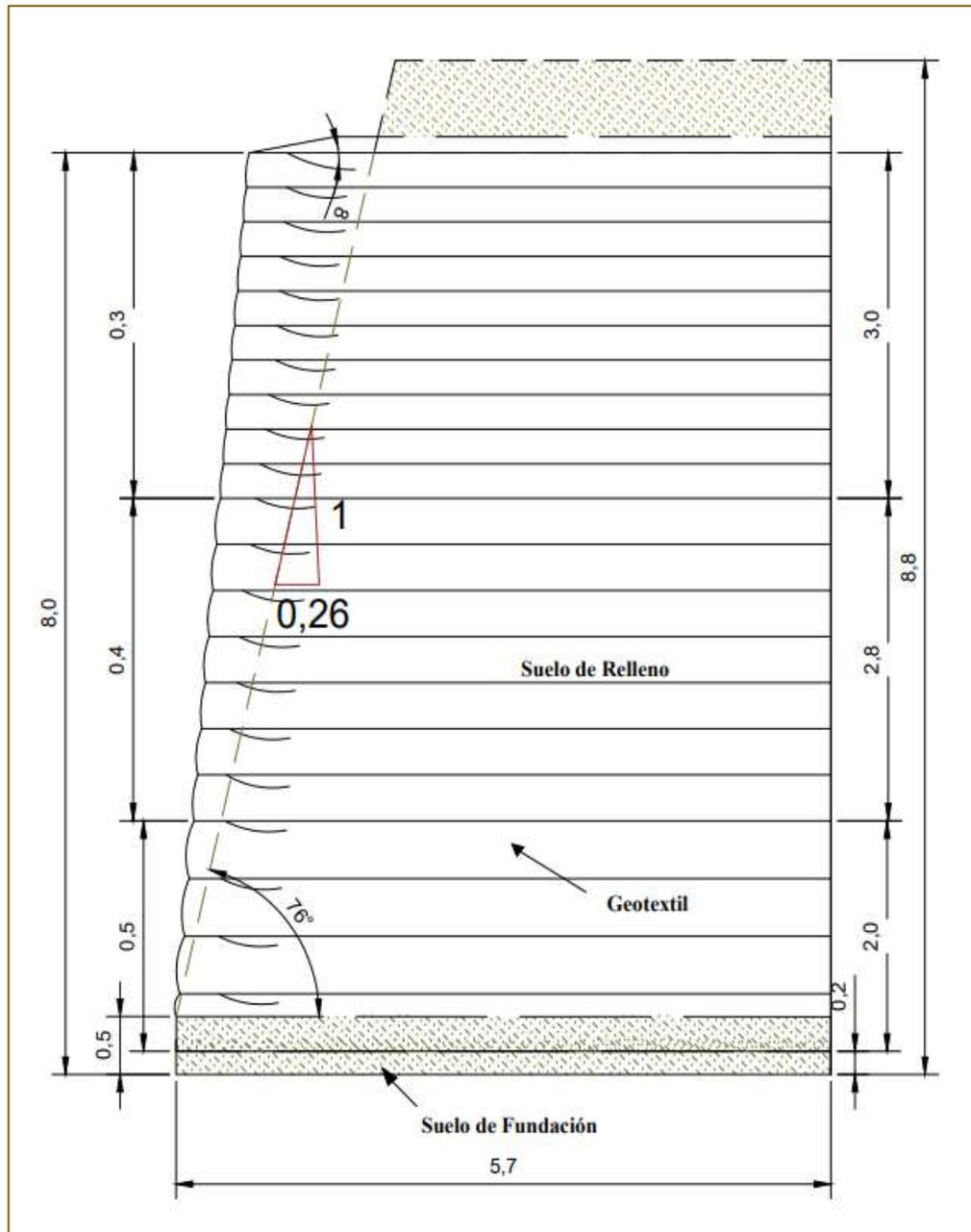
A continuación, se muestra la distribución general en la siguiente tabla:

Tabla 4.8. Diseño del muro

Z (m)	Geosintético	Sv Diseño (m)	Sv Calculado (m)	Le Mínimo (m)	Lr (m)	L (m)	Lo (m)	L a Usar (m)	Lt (m)	Fs×Sv
0,2	T2400	0,2	2,52	1,0	4,67	5,67	1,0	5,7	6,9	Cumple
0,7	T2400	0,5	1,37	1,0	4,37	5,37	1,0	5,7	7,2	Cumple
1,2	T2400	0,5	0,94	1,0	4,07	5,07	1,0	5,7	7,2	Cumple
1,7	T2400	0,5	0,72	1,0	3,77	4,77	1,0	5,7	7,2	Cumple
2,2	T2400	0,5	0,58	1,0	3,47	4,47	1,0	5,7	7,2	Cumple
2,6	TR4000	0,4	0,84	1,0	3,23	4,23	1,0	5,7	7,1	Cumple
3,0	TR4000	0,4	0,74	1,0	2,99	3,99	1,0	5,7	7,1	Cumple
3,4	TR4000	0,4	0,67	1,0	2,75	3,75	1,0	5,7	7,1	Cumple
3,8	TR4000	0,4	0,60	1,0	2,51	3,51	1,0	5,7	7,1	Cumple
4,2	TR4000	0,4	0,55	1,0	2,27	3,27	1,0	5,7	7,1	Cumple
4,6	TR4000	0,4	0,51	1,0	2,03	3,03	1,0	5,7	7,1	Cumple
5,0	TR4000	0,4	0,47	1,0	1,80	2,80	1,0	5,7	7,1	Cumple
5,3	TR4000	0,3	0,44	1,0	1,62	2,62	1,0	5,7	7,0	Cumple
5,6	TR4000	0,3	0,42	1,0	1,44	2,44	1,0	5,7	7,0	Cumple
5,9	TR4000	0,3	0,40	1,0	1,26	2,26	1,0	5,7	7,0	Cumple
6,2	TR4000	0,3	0,38	1,0	1,08	2,08	1,0	5,7	7,0	Cumple
6,5	TR4000	0,3	0,37	1,0	0,90	1,90	1,0	5,7	7,0	Cumple
6,8	TR4000	0,3	0,35	1,0	0,72	1,72	1,0	5,7	7,0	Cumple
7,1	TR4000	0,3	0,34	1,0	0,54	1,54	1,0	5,7	7,0	Cumple
7,4	TR4000	0,3	0,32	1,0	0,36	1,36	1,0	5,7	7,0	Cumple
7,7	TR4000	0,3	0,31	1,0	0,18	1,18	1,0	5,7	7,0	Cumple
8,0	TR4000	0,3	0,30	1,0	0,00	1,00	1,0	5,7	7,0	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.10. Dimensiones del muro reforzado



Fuente: Elaboración propia.

- Parámetros de entrada de análisis de estabilidad externa donde se muestra los datos del suelo de fundación y el dato del suelo a confinar y los factores de seguridad donde se encuentran en una tabla anteriormente.

Figura 4.11. Parámetros de entrada análisis de estabilidad externa

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft® PAVCO

DATOS DEL SUELO DE FUNDACIÓN

Ángulo de Fricción interna ϕ 29,0 grad

Cohesión C 1,2 Ton/m²

Peso Unitario γ 2,2 Ton/m³

FACTORES DE SEGURIDAD

	Condición Estática	Condición Dinámica
Deslizamiento \geq	1,5	1,125
Volcamiento \geq	2,0	1,5
Cap. Portante \geq	3,0	

DATOS DEL SUELO A CONFINAR

Ángulo de Fricción interna ϕ 29,0 grad

Cohesión C 1,2 Ton/m²

Peso Unitario γ 2,2 Ton/m³

PARÁMETROS DE INTERACCIÓN SUELO - REFUERZO

Fricción entre el suelo de fundación y el geosintético δ_{sRUT} 24,65 grad

Fricción entre el muro y el suelo a confinar δ_{wRUT} 23,2 grad

OTROS

Tipo de Análisis Capacidad Portante Drenado (Largo Plazo)
 No Drenado (Corto Plazo)

Profundidad de desplante de la cimentación (Z) 0,5 m

CARGAS DINÁMICAS

Aceleraciones de Sismo

$a_h =$ 0,0

$a_v =$ 0,0

Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se verifica las estabilidades tanto como al deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante del terreno que sea suficiente competente para soportar las cargas producidas.

Figura 4.12. Proceso de cálculo y resultado análisis de estabilidad externa

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

COEFICIENTES DE PRESIÓN LATERAL DE TIERRA

Valor de coeficiente de Presión Activa Estático K_a : 0,358

Valor del coeficiente de Presión Activa Dinámico K_{ad} : 0,343

CAPACIDAD PORTANTE

N_c : 27,86 σ_{ULT} [kPa]: 1.694,29

N_q : 16,44 $\sigma_{aplicado}$ [kPa]: 321,19

N_y : 19,34 F.S.: 5,27

Observación: Cumple

Eccentricidad [m]: 0,73 Observación: Cumple

ESTABILIDAD AL DESLIZAMIENTO

	Condición Estática	Observación	Condición Dinámica	Observación
Σ Fuerzas Resistentes [kN]	548,64		548,64	
Σ Fuerzas Actuantes [kN]	271,86		260,46	
Factor Seguridad Calculado	2,02	Cumple	2,11	Cumple

ESTABILIDAD AL VOLCAMIENTO

	Condición Estática	Observación	Condición Dinámica	Observación
Σ Momentos Resistentes [kN*m]	2.944,03		2.944,03	
Σ Momentos Actuantes [kN*m]	757,92		726,13	
Factor Seguridad Calculado	3,88	Cumple	4,05	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

- Estabilidad al deslizamiento donde se pudo verificar que las fuerzas horizontales externas no originan un desplazamiento al muro, $FS_D = 2,02 > 1,5$
- Estabilidad al volcamiento donde se debe revisar que el momento producido por las fuerzas horizontales actuantes comparadas con el momento generado por las fuerzas resistentes no vaya a ocasionar un volcamiento al muro, $FS_V = 3,88 > 2,0$
- Capacidad portante donde se revisa que el terreno sea lo suficientemente competente para soportar las cargas producidas para la construcción del muro, donde la profundidad de fundación debe tener un valor mínimo, $FS_{CP} = 5,27 > 3,0$

4.2.1.3 Talud 3.- Barrio Aranjuez (1)

- Parámetro de entrada de las propiedades geomecánicas del suelo de relleno donde ya se mencionó con una altura de 6,0 metros, dando así una base adecuada de 5,3 metros teniendo en cuenta los factores de seguridad adecuado.

Figura 4.13. Parámetros de entrada análisis de estabilidad interna

Geosoft Pavco V3.0

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft® PAVCO

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL SUELO DE RELLENO

Ángulo de Fricción Interna ϕ 20,0 grad

Cohesión C 1,2 Ton/m²

Peso Unitario γ 2,2 Ton/m³

DATOS DEL MURO

Altura Máxima H 6,0 m

Base del Muro B 5,3 m

Sugerir Base del muro

Inclinación Talud sobre la corona del Muro β 10,0 grad

Inclinación de la Cara del Muro α 85,0 grad

EVALUACIÓN DE CARGAS

Cargas Uniformes Sobre el Muro S_c 0,66 Ton/m²

¿Desea incluir Cargas Vehiculares? SI NO

¿Desea incluir Cargas Concentradas? SI NO

FACTORES DE SEGURIDAD

Factor de Seguridad Global 1,3

Factor de Seguridad por Daños de Instalación 1,2

PARÁMETROS DE INTERACCIÓN SUELO - REFUERZO

Fricción entre el suelo α usarse en la construcción del muro y el geosintético δ_{EOT} 16,0 grad

Fuente: Elaboración propia.

- Para este paso se usará ambos geotextiles si es conveniente, la longitud mínima de empalme de diseño es de 1,0 metro, y los factores de reducción del para ambos del geotextil y geomalla mencionados en una tabla anteriormente.

Figura 4.14. Proceso de cálculo

The screenshot shows the 'Geosoft Pavco v3.0' software interface. The main title is 'MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO'. The interface is divided into several sections:

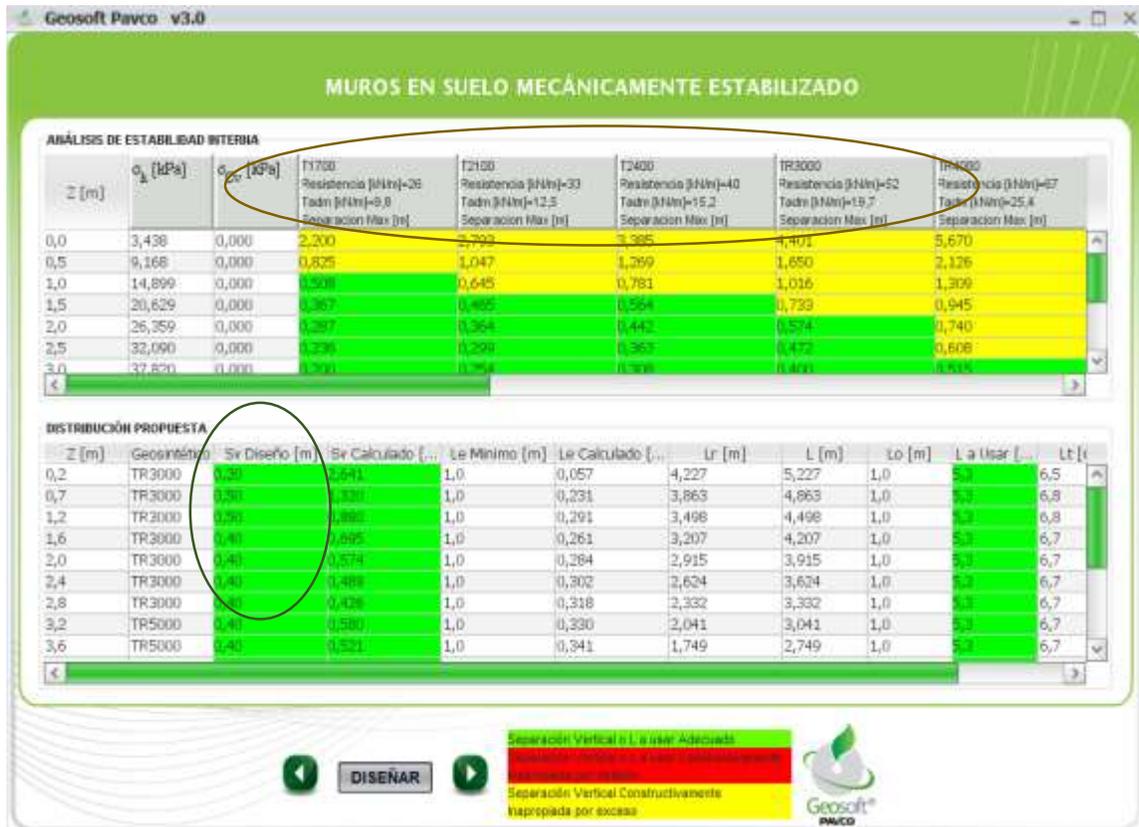
- GEOSINTÉTICO A USAR:** Three radio buttons are present: 'Geotextil', 'Geomalla', and 'Ambos'. The 'Ambos' option is selected and circled in red.
- LONGITUDES DE DISEÑO:** Two input fields for design lengths. 'L_e Mínimo' is set to 1,0 m. 'L_o a usar' is set to 1,0 m.
- FACTORES DE REDUCCIÓN GEOTEXTIL:** Two input fields. 'Factor de Reducción por Fluencia de Material' is 2,2. 'Factor de Reducción por Degradación Química y Biológica' is 1,0.
- FACTORES DE REDUCCIÓN GEOMALLA:** Two input fields. 'Factor de Reducción por Fluencia de Material' is 2,2. 'Degradación Química y Biológica' is 1,0.
- Diagram:** A technical drawing on the right shows a cross-section of a wall of height H. It illustrates the overlap length L_e and the total length L_o of the geosynthetic material. A 45-degree angle is shown, along with a note '45° x Ø/2'.

At the bottom of the interface, there are three navigation buttons: a left arrow, a question mark, and a right arrow.

Fuente: Elaboración propia

- En la distribución de análisis de estabilidad interna donde se muestra las diferentes resistencias ultima del geotextil, donde se tomará la resistencia de acuerdo a los parámetros de resistencia del suelo.

Figura 4.15. Resultados análisis de estabilidad interna



Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se muestra la distribución propuesta, las separaciones verticales son adecuados a usar de acuerdo a los diferentes tipos de geosintéticos.
- Las longitudes de empotramiento y de anclaje o de doblaje que será de un 1,0 metro como mínimo.
- Debido a que no solo se debe garantizar la estabilidad interna del muro sino también la estabilidad externa, la longitud total a usar en los refuerzos será al 80% de la altura del muro.

A continuación, se muestra la distribución general en la siguiente tabla:

Tabla 4.9. Diseño del muro

Z (m)	Geosintético	Sv Diseño (m)	Sv Calculado (m)	Le Mínimo (m)	Lr (m)	L (m)	Lo (m)	L a Usar (m)	Lt (m)	Fs×Sv
0,2	TR3000	0,2	2,64	1,0	4,23	5,23	1,0	5,3	6,5	Cumple
0,7	TR3000	0,5	1,32	1,0	3,86	4,86	1,0	5,3	6,8	Cumple
1,2	TR3000	0,5	0,88	1,0	3,50	4,50	1,0	5,3	6,8	Cumple
1,6	TR3000	0,4	0,70	1,0	3,21	4,21	1,0	5,3	6,7	Cumple
2,0	TR3000	0,4	0,57	1,0	2,92	3,92	1,0	5,3	6,7	Cumple
2,4	TR3000	0,4	0,49	1,0	2,62	3,62	1,0	5,3	6,7	Cumple
2,8	TR3000	0,4	0,43	1,0	2,33	3,33	1,0	5,3	6,7	Cumple
3,2	TR5000	0,4	0,58	1,0	2,04	3,04	1,0	5,3	6,7	Cumple
3,6	TR5000	0,4	0,52	1,0	1,75	2,75	1,0	5,3	6,7	Cumple
3,9	TR5000	0,3	0,48	1,0	1,53	2,53	1,0	5,3	6,6	Cumple
4,2	TR5000	0,3	0,45	1,0	1,31	2,31	1,0	5,3	6,6	Cumple
4,5	TR5000	0,3	0,42	1,0	1,09	2,09	1,0	5,3	6,6	Cumple
4,8	TR5000	0,3	0,40	1,0	0,88	1,89	1,0	5,3	6,6	Cumple
5,1	TR5000	0,3	0,38	1,0	0,66	1,66	1,0	5,3	6,6	Cumple
5,4	TR5000	0,3	0,37	1,0	0,44	1,44	1,0	5,3	6,6	Cumple
5,7	TR5000	0,3	0,34	1,0	0,22	1,22	1,0	5,3	6,6	Cumple
6,0	TR5000	0,3	0,32	1,0	0,00	1,00	1,0	5,3	6,6	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

- Parámetros de entrada de análisis de estabilidad interna donde se muestra los datos del suelo de fundación y el dato del suelo a confinar y los factores de seguridad donde se encuentran en una tabla anteriormente.

Figura 4.17. Parámetros de entrada análisis de estabilidad externa

Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se verifica las estabilidades tanto como al deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante del terreno que sea suficiente competente para soportar las cargas producidas.

Figura 4.18. Proceso de cálculo y resultado análisis de estabilidad externa

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft PAVCO

COEFICIENTES DE PRESIÓN LATERAL DE TIERRA		CAPACIDAD PORTANTE	
Valor de coeficiente de Presión Activa Estático K_a	0,531	N_c 18,32	σ_{ult} [kPa] 889,76
Valor del coeficiente de Presión Activa Dinámico K_{ad}	0,521	N_q 9,6	$\sigma_{aplicado}$ [kPa] 237,27
		N_γ 9,44	F.S. 3,75
		Observación	Cumple
		Eccentricidad [m] 0,66	Observación Cumple

ESTABILIDAD AL DESLIZAMIENTO			
	Condición Estática	Observación	Condición Dinámica
Σ Fuerzas Resistentes [kN]	340,55		340,55
Σ Fuerzas Actuantes [kN]	226,92		222,39
Factor Seguridad Calculado	1,5	Cumple	1,53
			Observación Cumple

ESTABILIDAD AL VOLCAMIENTO			
	Condición Estática	Observación	Condición Dinámica
Σ Momentos Resistentes [kN*m]	1.909		1.909
Σ Momentos Actuantes [kN*m]	474,47		464,98
Factor Seguridad Calculado	4,02	Cumple	4,11
			Observación Cumple

Fuente: Elaboración propia.

- Estabilidad al deslizamiento donde se pudo verificar que las fuerzas horizontales externas no originan un desplazamiento al muro, $FS_D = 1,5 > 1,5$
- Estabilidad al volcamiento donde se debe revisar que el momento producido por las fuerzas horizontales actuantes comparadas con el momento generado por las fuerzas resistentes no vaya a ocasionar un volcamiento al muro, $FS_V = 4,02 > 2,0$
- Capacidad portante donde se revisa que el terreno sea lo suficientemente competente para soportar las cargas producidas para la construcción del muro, donde la profundidad de fundación debe tener un valor mínimo, $FS_{CP} = 3,75 > 3,0$

4.2.1.4. Talud 4.- Barrio Aranjuez (2)

- Parámetro de entrada de las propiedades geomecánicas del suelo de relleno donde ya se mencionó con una altura de 5,0 metros, dando así una base adecuada de 4,2 metros teniendo en cuenta los factores de seguridad adecuado.

Figura 4.19. Parámetros de entrada análisis de estabilidad interna

Geosoft Pavco v3.0

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft® PAVCO

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL SUELO DE RELLENO

Ángulo de Fricción interna ϕ 25,0 grad

Cohesión C 1,1 Ton/m²

Peso Unitario γ 2,2 Ton/m³

DATOS DEL MURO

Altura Máxima H 5,0 m

Base del Muro B 4,2 m

Sugerir Base del muro

Inclinación Talud sobre la corona del Muro β 10,0 grad

Inclinación de la Cara del Muro α 85,0 grad

EVALUACIÓN DE CARGAS

Cargas Uniformes Sobre el Muro Sc 0,66 Ton/m²

¿Desea incluir Cargas Vehiculares? SI NO

¿Desea incluir Cargas Concentradas? SI NO

FACTORES DE SEGURIDAD

Factor de Seguridad Global 1,3

Factor de Seguridad por Daños de Instalación 1,2

PARÁMETROS DE INTERACCIÓN SUELO - REFUERZO

Fricción entre el suelo a usarse en la construcción del muro y el geosintético δ_{SGT} 20,0 grad

Fuente: Elaboración propia.

- Para este paso se usará la geomalla uniaxial coestruida, la longitud mínima de empalme de diseño es de 1,0 metro, y los factores de reducción del para ambos del geotextil y geomalla mencionados en una tabla anteriormente.

Figura 4.20. Proceso de cálculo

The screenshot shows the 'Geosoft Pavco v3.0' software interface. The main title is 'MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO'. The interface is divided into several sections:

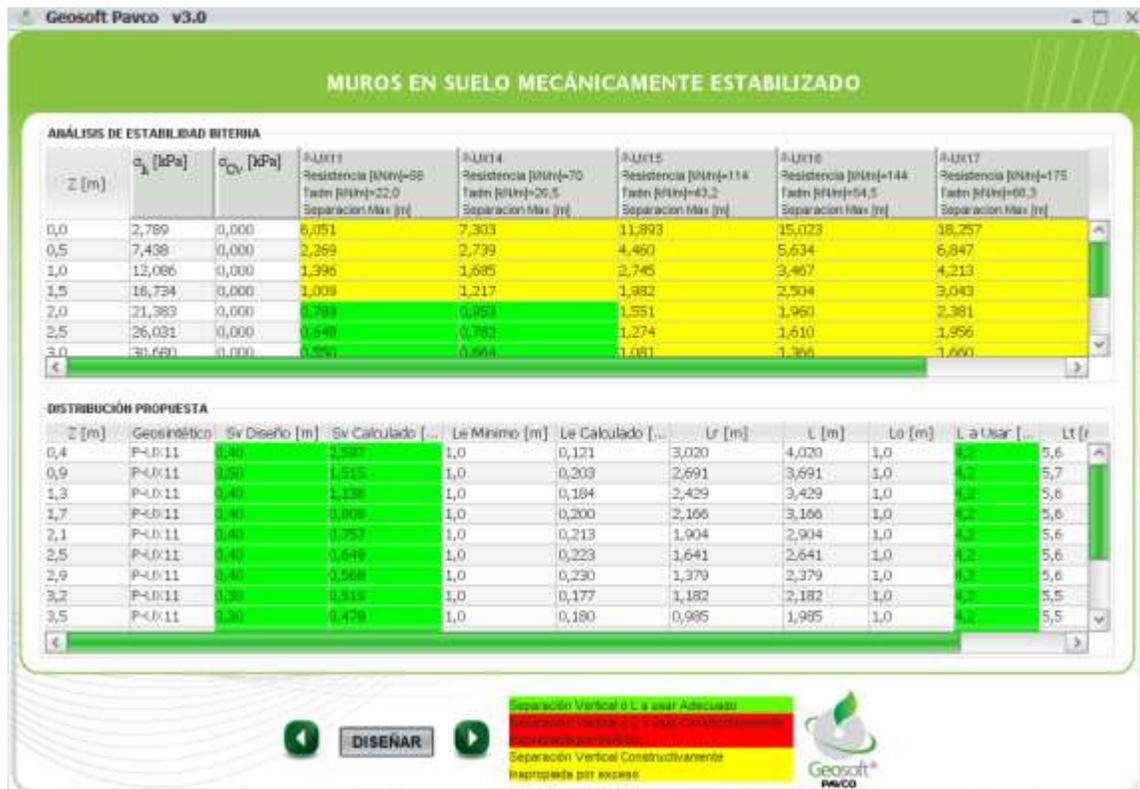
- GEOSINTÉTICO A USAR:** Three radio buttons are present: 'Geotextil' (unselected), 'Geomalla' (selected), and 'Ambos' (unselected). This section is circled in brown.
- LONGITUDES DE DISEÑO:** Two input fields for design lengths, both set to '1,0' meters. The units are set to 'm'.
- FACTORES DE REDUCCIÓN GEOTEXTIL:** Two input fields: 'Factor de Reducción por Fluencia de Material' (2,2) and 'Factor de Reducción por Degradación Química y Biológica' (1,0).
- FACTORES DE REDUCCIÓN GEOMALLA:** Two input fields: 'Factor de Reducción por Fluencia de Material' (2,2) and 'Degradación Química y Biológica' (1,0).
- Diagram:** A technical diagram on the right shows three horizontal layers of reinforcement. The total height is labeled 'H'. The vertical spacing between layers is 'S_v'. The design length of the reinforcement is 'L_o'. The overlap length is 'L_e'. The length of the reinforcement from the wall face is 'L_r'. A dashed line indicates a 45-degree angle, labeled '45° x (D/2)'. The diagram also shows the intersection of the reinforcement layers.

At the bottom of the interface, there are three navigation buttons: a left arrow, a question mark, and a right arrow.

Fuente: Elaboración propia.

- En la distribución de análisis de estabilidad interna donde se muestra las diferentes resistencias ultima del geotextil, donde se tomará la resistencia de acuerdo a los parámetros de resistencia del suelo.

Figura 4.21. Resultados análisis de estabilidad interna



Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se muestra la distribución propuesta, las separaciones verticales son adecuados a usar de acuerdo a los diferentes tipos de geosintéticos.
- Las longitudes de empotramiento y de anclaje o de doblaje que será de un 1,0 metro como mínimo.
- Debido a que no solo se debe garantizar la estabilidad interna del muro sino también la estabilidad externa, la longitud total a usar en los refuerzos será al 80% de la altura del muro.

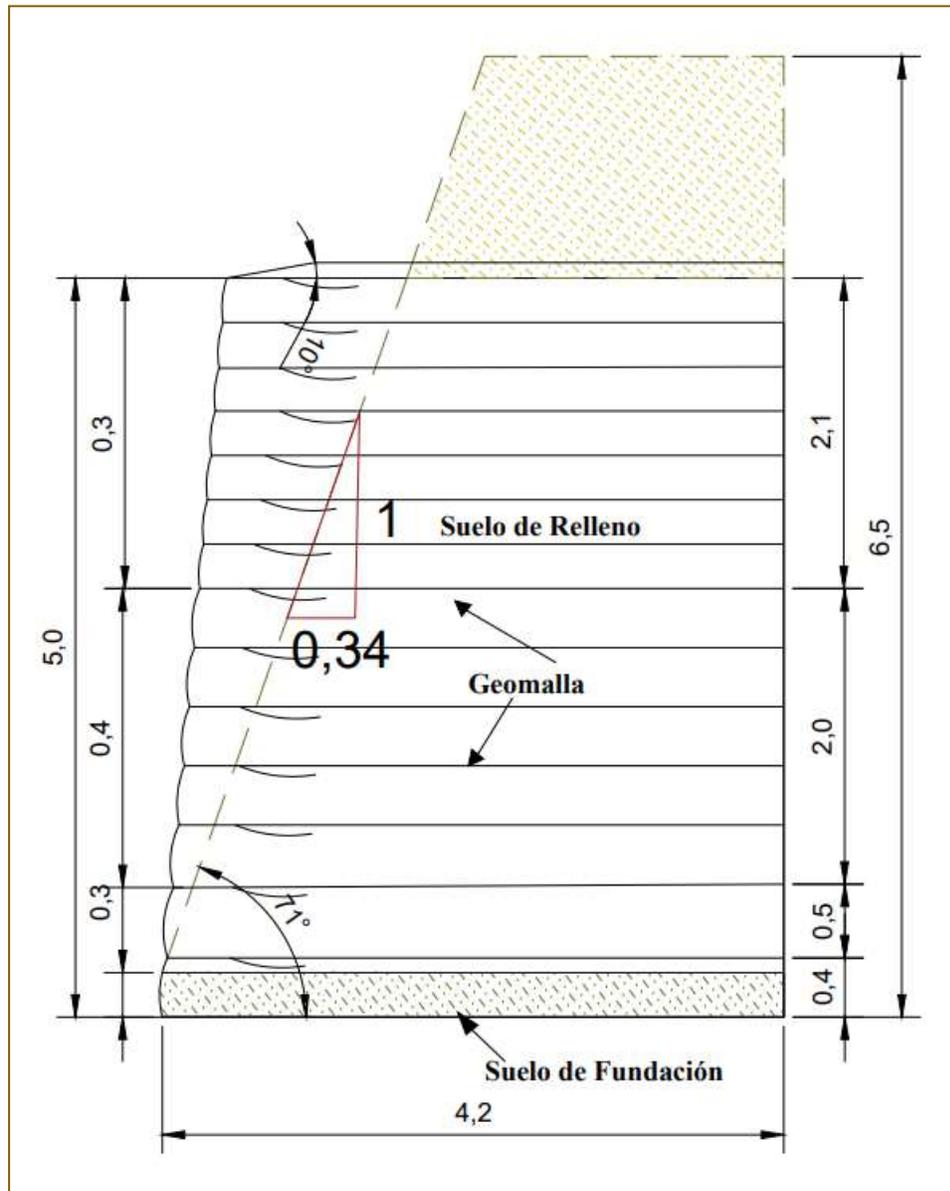
A continuación, se muestra la distribución general en la siguiente tabla:

Tabla 4.10. Diseño del muro

Z (m)	Geosintético	Sv Diseño (m)	Sv Calculado (m)	Le Mínimo (m)	Lr (m)	L (m)	Lo (m)	L a Usar (m)	Lt (m)	Fs×Sv
0,4	P-UX11	0,4	2,59	1,0	3,02	4,02	1,0	4,2	5,6	Cumple
0,9	P-UX11	0,5	1,51	1,0	2,69	3,69	1,0	4,2	5,7	Cumple
1,3	P-UX11	0,4	1,14	1,0	2,43	3,43	1,0	4,2	5,6	Cumple
1,7	P-UX11	0,4	0,91	1,0	2,17	3,17	1,0	4,2	5,6	Cumple
2,1	P-UX11	0,4	0,76	1,0	1,90	2,90	1,0	4,2	5,6	Cumple
2,5	P-UX11	0,4	0,65	1,0	1,64	2,64	1,0	4,2	5,6	Cumple
2,9	P-UX11	0,4	0,57	1,0	1,38	2,38	1,0	4,2	5,6	Cumple
3,2	P-UX11	0,3	0,52	1,0	1,18	2,18	1,0	4,2	5,5	Cumple
3,5	P-UX11	0,3	0,48	1,0	0,99	1,99	1,0	4,2	5,5	Cumple
3,8	P-UX11	0,3	0,44	1,0	0,79	1,79	1,0	4,2	5,5	Cumple
4,1	P-UX11	0,3	0,41	1,0	0,59	1,59	1,0	4,2	5,5	Cumple
4,4	P-UX11	0,3	0,39	1,0	0,39	1,39	1,0	4,2	5,5	Cumple
4,7	P-UX11	0,3	0,36	1,0	0,20	1,20	1,0	4,2	5,5	Cumple
5,0	P-UX11	0,3	0,34	1,0	0,00	1,00	1,0	4,2	5,5	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.22. Dimensiones del muro reforzado



Fuente: Elaboración propia.

- Parámetros de entrada de análisis de estabilidad externa donde se muestra los datos del suelo de fundación y el dato del suelo a confinar y los factores de seguridad donde se encuentran en una tabla anteriormente.

Figura 4.23. Parámetros de entrada análisis de estabilidad externa

Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se verifica las estabilidades tanto como al deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante del terreno que sea suficiente competente para soportar las cargas producidas.

Figura 4.24. Proceso de cálculo y resultado análisis de estabilidad externa

Geosoft Pavco v3.0

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft PAVCO

COEFICIENTES DE PRESIÓN LATERAL DE TIERRA		CAPACIDAD PORTANTE	
Valor de coeficiente de Presión Activa Estático K_a	0,431	N_x 22,25	σ_{ULT} [kPa] 906,71
Valor del coeficiente de Presión Activa Dinámico K_{aD}	0,419	N_q 11,85	$\sigma_{aplicado}$ [kPa] 192,08
		N_y 12,54	F.I. 4,72
		Observación	Cumple
		Eccentricidad [m] 0,48	Observación Cumple

ESTABILIDAD AL DESLIZAMIENTO				
	Condición Estática	Observación	Condición Dinámica	Observación
Σ Fuerzas Resistentes [kN]	246,69		246,69	
Σ Fuerzas Actuantes [kN]	130,16		126,5	
Factor Seguridad Calculado	1,9	Cumple	1,95	Cumple

ESTABILIDAD AL VOLCAMIENTO				
	Condición Estática	Observación	Condición Dinámica	Observación
Σ Momentos Resistentes [kN*m]	1.008,53		1.008,53	
Σ Momentos Actuantes [kN*m]	228,55		222,12	
Factor Seguridad Calculado	4,41	Cumple	4,54	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

- Estabilidad al deslizamiento donde se pudo verificar que las fuerzas horizontales externas no originan un desplazamiento al muro, $FS_D = 1,9 > 1,5$
- Estabilidad al volcamiento donde se debe revisar que el momento producido por las fuerzas horizontales actuantes comparadas con el momento generado por las fuerzas resistentes no vaya a ocasionar un volcamiento al muro, $FS_V = 4,41 > 2,0$
- Capacidad portante donde se revisa que el terreno sea lo suficientemente competente para soportar las cargas producidas para la construcción del muro, donde la profundidad de fundación debe tener un valor mínimo, $FS_{CP} = 4,72 > 3,0$

4.2.1.5. Talud 5.- Barrio Aranjuez (3)

- Parámetro de entrada de las propiedades geomecánicas del suelo de relleno donde ya se mencionó con una altura de 8,0 metros, dando así una base adecuada de 6,0 metros teniendo en cuenta los factores de seguridad adecuado.

Figura 4.25. Parámetros de entrada análisis de estabilidad interna

Geosoft Pavco v3.0

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft PAVCO

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL SUELO DE RELLENO

Ángulo de Fricción Interna: ϕ 26,0 grad

Cohesión C 1,1 Ton/m²

Peso Unitario γ 2,2 Ton/m³

DATOS DEL MURO

Altura Máxima H 8,0 m

Base del Muro B 6,0 m

Sugerir Base del muro

Inclinación Talud sobre la corona del Muro β 8,0 grad

Inclinación de la Cara del Muro α 85,0 grad

EVALUACIÓN DE CARGAS

Cargas Uniformes Sobre el Muro S_c 0,88 Ton/m²

¿Desea incluir Cargas Vehiculares? SI NO

¿Desea incluir Cargas Concentradas? SI NO

FACTORES DE SEGURIDAD

Factor de Seguridad Global 1,3

Factor de Seguridad por Daños de Instalación 1,2

PARÁMETROS DE INTERACCIÓN SUELO - REFUERZO

Fricción entre el suelo a usarse en la construcción del muro y el geosintético δ_{SOT} 20,8 grad

Fuente: Elaboración propia.

- Para este paso se usará ambos geotextiles si es conveniente, la longitud mínima de empalme de diseño es de 1,0 metro, y los factores de reducción del para ambos del geotextil y geomalla mencionados en una tabla anteriormente.

Figura 4.26. Proceso de cálculo

The screenshot shows the 'Geosoft Pavco v3.0' software interface. The main title is 'MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO'. The interface is divided into several sections:

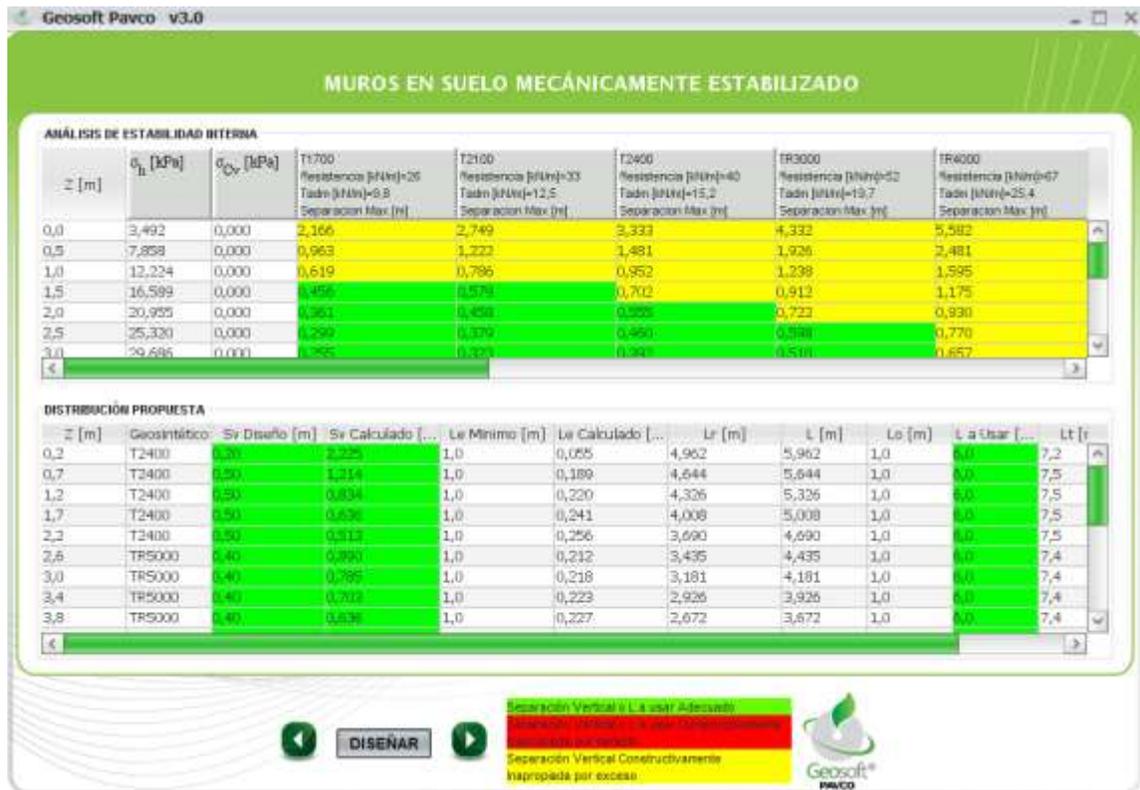
- GEOSINTÉTICO A USAR:** Radio buttons for 'Geotextil', 'Geomalla', and 'Ambos'. 'Ambos' is selected.
- LONGITUDES DE DISEÑO:** Input fields for 'L_e Mínimo' (1,0 m) and 'L_o a usar' (1,0 m).
- FACTORES DE REDUCCIÓN GEOTEXTIL:** Input fields for 'Factor de Reducción por Fluencia de Material' (2,2) and 'Factor de Reducción por Degradación Química y Biológica' (1,0). This section is circled in orange.
- FACTORES DE REDUCCIÓN GEOMALLA:** Input fields for 'Factor de Reducción por Fluencia de Material' (2,2) and 'Degradación Química y Biológica' (1,0).
- Diagram:** A technical cross-section of a soil wall of height 'H'. It shows three horizontal reinforcement layers. The top layer has a design length 'L_o'. The middle layer has a design length 'L_e'. The bottom layer has a design length 'L'. The vertical spacing between layers is 'S_v'. A dashed line indicates a failure surface with an angle 'α'. A safety factor 'F_s' is also indicated.

At the bottom of the interface are three navigation buttons: a left arrow, a question mark, and a right arrow.

Fuente: Elaboración propia.

- En la distribución de análisis de estabilidad interna donde se muestra las diferentes resistencias ultima del geotextil, donde se tomará la resistencia de acuerdo a los parámetros de resistencia del suelo.

Figura 4.27. Resultados análisis de estabilidad interna



Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se muestra la distribución propuesta, las separaciones verticales son adecuados a usar de acuerdo a los diferentes tipos de geosintéticos.
- Las longitudes de empotramiento y de anclaje o de doblaje que será de un 1,0 metro como mínimo.
- Debido a que no solo se debe garantizar la estabilidad interna del muro sino también la estabilidad externa, la longitud total a usar en los refuerzos será al 80% de la altura del muro.

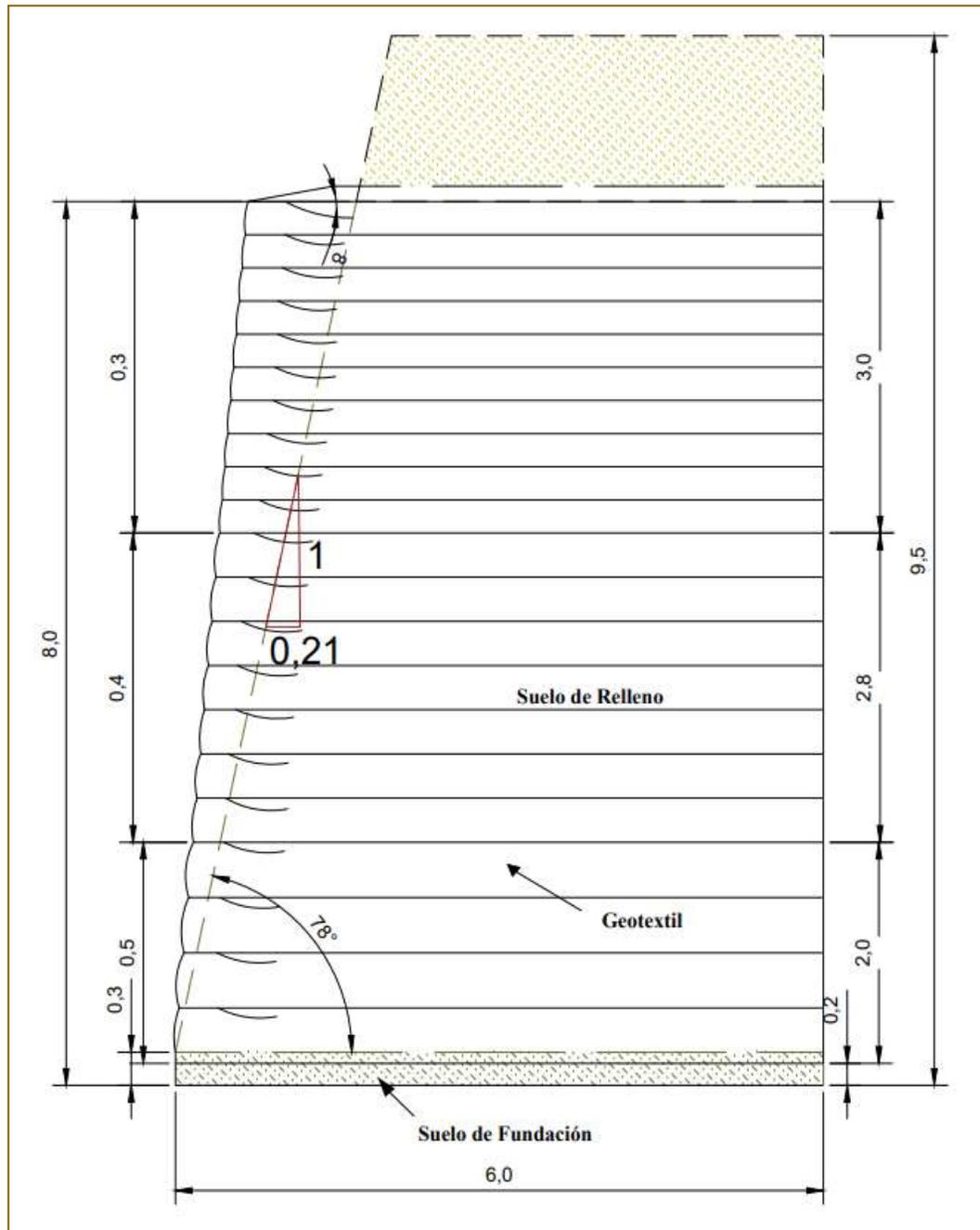
A continuación, se muestra la distribución general en la siguiente tabla:

Tabla 4.11. Diseño del muro

Z (m)	Geosintético	Sv Diseño (m)	Sv Calculado (m)	Le Mínimo (m)	Lr (m)	L (m)	Lo (m)	L a Usar (m)	Lt (m)	Fs×Sv
0,2	T2400	0,2	2,22	1,0	4,96	5,96	1,0	6,0	7,2	Cumple
0,7	T2400	0,5	1,21	1,0	4,64	5,64	1,0	6,0	7,5	Cumple
1,2	T2400	0,5	0,83	1,0	4,33	5,33	1,0	6,0	7,5	Cumple
1,7	T2400	0,5	0,64	1,0	4,01	5,01	1,0	6,0	7,5	Cumple
2,2	T2400	0,5	0,51	1,0	3,69	4,69	1,0	6,0	7,5	Cumple
2,6	TR5000	0,4	0,89	1,0	3,44	4,44	1,0	6,0	7,4	Cumple
3,0	TR5000	0,4	0,78	1,0	3,18	4,18	1,0	6,0	7,4	Cumple
3,4	TR5000	0,4	0,70	1,0	2,93	3,93	1,0	6,0	7,4	Cumple
3,8	TR5000	0,4	0,64	1,0	2,67	3,67	1,0	6,0	7,4	Cumple
4,2	TR5000	0,4	0,58	1,0	2,42	3,42	1,0	6,0	7,4	Cumple
4,6	TR5000	0,4	0,53	1,0	2,16	3,16	1,0	6,0	7,4	Cumple
5,0	TR5000	0,4	0,49	1,0	1,91	2,91	1,0	6,0	7,4	Cumple
5,3	TR5000	0,3	0,47	1,0	1,72	2,72	1,0	6,0	7,3	Cumple
5,6	TR5000	0,3	0,44	1,0	1,53	2,53	1,0	6,0	7,3	Cumple
5,9	TR5000	0,3	0,42	1,0	1,34	2,34	1,0	6,0	7,3	Cumple
6,2	TR5000	0,3	0,40	1,0	1,15	2,15	1,0	6,0	7,3	Cumple
6,5	TR5000	0,3	0,39	1,0	0,95	1,95	1,0	6,0	7,3	Cumple
6,8	TR5000	0,3	0,37	1,0	0,76	1,76	1,0	6,0	7,3	Cumple
7,1	TR5000	0,3	0,36	1,0	0,57	1,57	1,0	6,0	7,3	Cumple
7,4	TR5000	0,3	0,34	1,0	0,38	1,38	1,0	6,0	7,3	Cumple
7,7	TR5000	0,3	0,33	1,0	0,19	1,19	1,0	6,0	7,3	Cumple
8,0	TR5000	0,3	0,32	1,0	0,00	1,00	1,0	6,0	7,3	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.28. Dimensiones del muro reforzado



Fuente: Elaboración propia.

- Parámetros de entrada de análisis de estabilidad interna donde se muestra los datos del suelo de fundación y el dato del suelo a confinar y los factores de seguridad donde se encuentran en una tabla anteriormente.

Figura 4.29. Parámetros de entrada análisis de estabilidad externa

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft PAVCO

DATOS DEL SUELO DE FUNDACIÓN

Ángulo de Fricción interna ϕ 42,0 grad

Cohesión C 2,0 Ton/m²

Peso Unitario γ 2,2 Ton/m³

FACTORES DE SEGURIDAD

	Condición Estática	Condición Dinámica
Deslizamiento \geq	1,5	1,125
Volcamiento \geq	2,0	1,5
Cap. Portante \geq	3,0	

DATOS DEL SUELO A CONFINAR

Ángulo de Fricción Interna ϕ 26,0 grad

Cohesión C 1,1 Ton/m²

Peso Unitario γ 2,2 Ton/m³

PARÁMETROS DE INTERACCIÓN SUELO - REFUERZO

Fricción entre el suelo de fundación y el geosintético $\delta_{s/POT}$ 29,4 grad

Fricción entre el muro y el suelo a confinar δ_{MOT} 20,8 grad

OTROS

Tipo de Análisis Capacidad Portante Drenado (Largo Plazo)
 No Drenado (Corto Plazo)

Profundidad de despunte de la cimentación (z) 0,3 m

CARGAS DINÁMICAS

Aceleraciones de Sismo

$a_h = 0,0$

$a_v = 0,0$

Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se verifica las estabilidades tanto como al deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante del terreno que sea suficiente competente para soportar las cargas producidas.

Figura 4.30. Proceso de cálculo y resultado análisis de estabilidad externa



Fuente: Elaboración propia.

- Estabilidad al deslizamiento donde se pudo verificar que las fuerzas horizontales externas no originan un desplazamiento al muro, $FS_D = 2,38 > 1,5$
- Estabilidad al volcamiento donde se debe revisar que el momento producido por las fuerzas horizontales actuantes comparadas con el momento generado por las fuerzas resistentes no vaya a ocasionar un volcamiento al muro, $FS_V = 3,81 > 2,0$
- Capacidad portante donde se revisa que el terreno sea lo suficientemente competente para soportar las cargas producidas para la construcción del muro, donde la profundidad de fundación debe tener un valor mínimo, $FS_{CP} = 38,45 > 3,0$

4.2.1.6. Talud 6.- Barrio san Antonio (1)

- Parámetro de entrada de las propiedades geomecánicas del suelo de relleno donde ya se mencionó con una altura de 6,0 metros, dando así una base adecuada de 5,3 metros teniendo en cuenta los factores de seguridad adecuado.

Figura 4.31. Parámetros de entrada análisis de estabilidad interna

Geosoft Pavco v3.0

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft® PAVCO

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL SUELO DE RELLENO

Ángulo de Fricción interna ϕ : 20,0 grad

Cohesión C: 1,4 Ton/m²

Peso Unitario γ : 2,2 Ton/m³

DATOS DEL MURO

Altura Máxima H: 6,0 m

Base del Muro B: 5,3 m

Sugerir Base del muro

Inclinación Talud sobre la corona del Muro β : 10,0 grad

Inclinación de la Cara del Muro α : 85,0 grad

EVALUACIÓN DE CARGAS

Cargas Uniformes Sobre el Muro Sc: 1,1 Ton/m²

¿Desea incluir Cargas Vehiculares? SI NO

¿Desea incluir Cargas Concentradas? SI NO

FACTORES DE SEGURIDAD

Factor de Seguridad Global: 1,3

Factor de Seguridad por Daños de Instalación: 1,2

PARÁMETROS DE INTERACCIÓN SUELO - REFUERZO

Fricción entre el suelo a usarse en la construcción del muro y el geosintético δ_{GT} : 16,0 grad

Navigation: < ? >

Fuente: Elaboración propia.

- Para este paso se usará ambos geotextiles si es conveniente, la longitud mínima de empalme de diseño es de 1,0 metro, y los factores de reducción del para ambos del geotextil y geomalla mencionados en una tabla anteriormente.

Figura 4.32. Proceso de cálculo

Geosoft Pavco v3.0

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft® PAVCO

GEOSINTÉTICO A USAR

Geotextil Geomalla Ambos

LONGITUDES DE DISEÑO

L_e Mínimo 1,0 m

L_o a usar 1,0 m

FACTORES DE REDUCCIÓN GEOTEXTIL

Factor de Reducción por Fluencia de Material: 2,2

Factor de Reducción por Degradación Química y Biológica: 1,0

FACTORES DE REDUCCIÓN GEOMALLA

Factor de Reducción por Fluencia de Material: 2,2

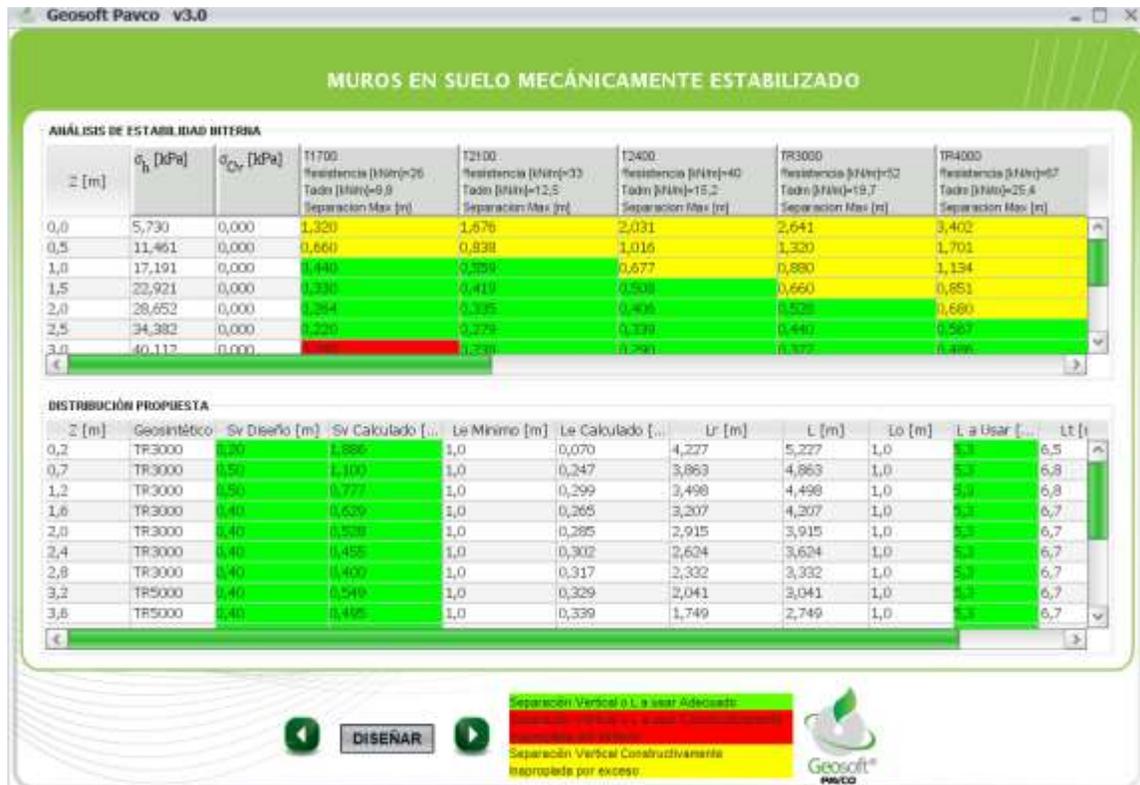
Degradación Química y Biológica: 1,0

Diagrama: Muestra un corte transversal de un muro de altura H con tres capas de refuerzo. El espesor de cada capa es S_y . Las longitudes de diseño de los refuerzos son L_o (longitud total), L_R (longitud de empalme), y L_e (longitud útil). El ángulo de inclinación de los refuerzos es $45^\circ + \phi/2$.

Fuente: Elaboración propia.

- En la distribución de análisis de estabilidad interna donde se muestra las diferentes resistencias ultima del geotextil, donde se tomará la resistencia de acuerdo a los parámetros de resistencia del suelo.

Figura 4.33. Resultados análisis de estabilidad interna



Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se muestra la distribución propuesta, las separaciones verticales son adecuados a usar de acuerdo a los diferentes tipos de geosintéticos.
- Las longitudes de empotramiento y de anclaje o de doblaje que será de un 1,0 metro como mínimo.
- Debido a que no solo se debe garantizar la estabilidad interna del muro sino también la estabilidad externa, la longitud total a usar en los refuerzos será al 80% de la altura del muro.

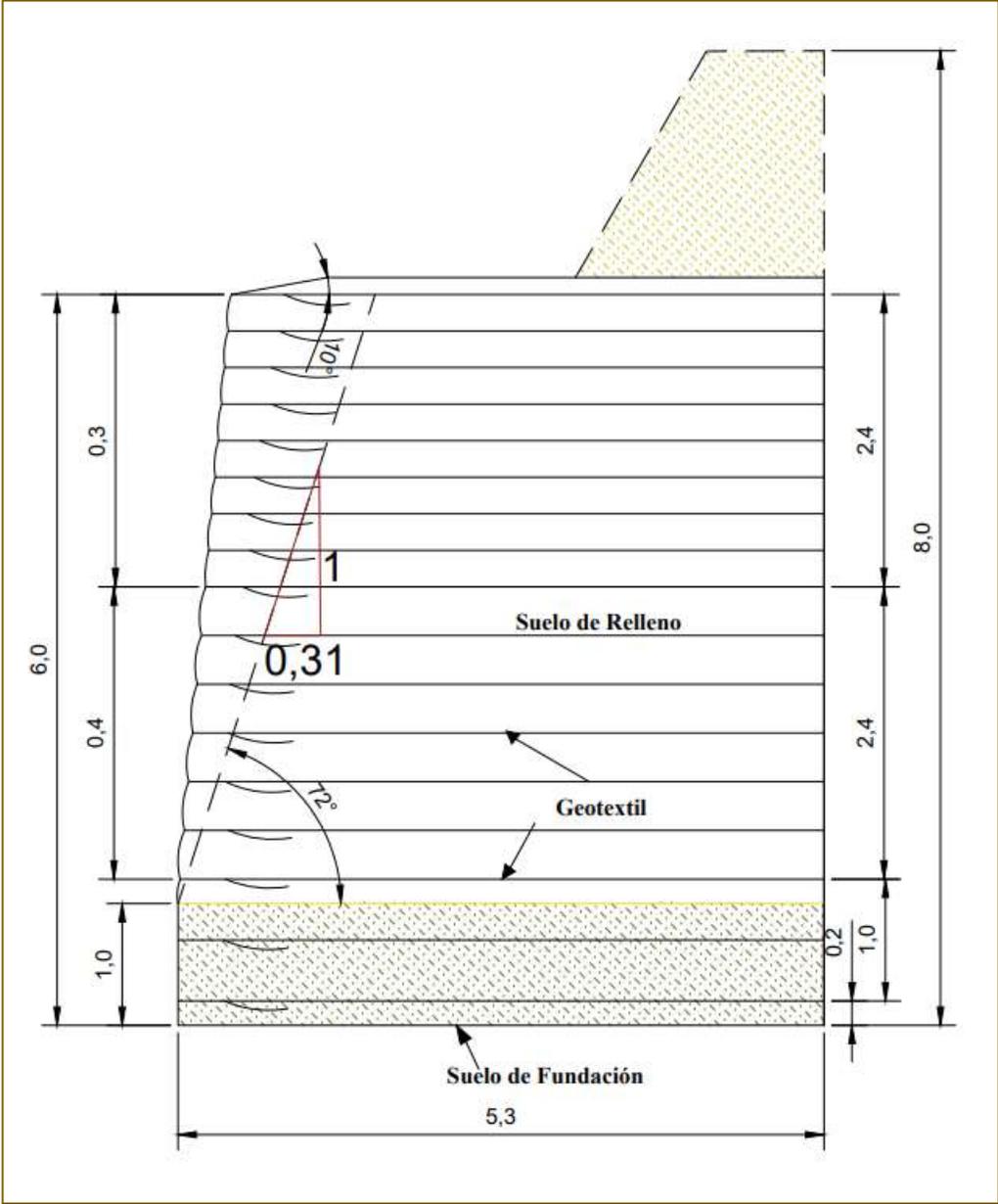
A continuación, se muestra la distribución general en la siguiente tabla:

Tabla 4.12. Diseño del muro

Z (m)	Geosintético	Sv Diseño (m)	Sv Calculado (m)	Le Mínimo (m)	Lr (m)	L (m)	Lo (m)	L a Usar (m)	Lt (m)	Fs×Sv
0,2	TR3000	0,2	1,89	1,0	4,23	5,23	1,0	5,3	6,5	Cumple
0,7	TR3000	0,5	1,10	1,0	3,86	4,86	1,0	5,3	6,8	Cumple
1,2	TR3000	0,5	0,78	1,0	3,50	4,50	1,0	5,3	6,8	Cumple
1,6	TR3000	0,4	0,63	1,0	3,21	4,21	1,0	5,3	6,7	Cumple
2,0	TR3000	0,4	0,53	1,0	2,92	3,92	1,0	5,3	6,7	Cumple
2,4	TR3000	0,4	0,46	1,0	2,62	3,62	1,0	5,3	6,7	Cumple
2,8	TR3000	0,4	0,40	1,0	2,33	3,33	1,0	5,3	6,7	Cumple
3,2	TR5000	0,4	0,55	1,0	2,04	3,04	1,0	5,3	6,7	Cumple
3,6	TR5000	0,4	0,50	1,0	1,75	2,75	1,0	5,3	6,7	Cumple
3,9	TR5000	0,3	0,46	1,0	1,53	2,53	1,0	5,3	6,6	Cumple
4,2	TR5000	0,3	0,43	1,0	1,31	2,31	1,0	5,3	6,6	Cumple
4,5	TR5000	0,3	0,41	1,0	1,09	2,09	1,0	5,3	6,6	Cumple
4,8	TR5000	0,3	0,38	1,0	0,88	1,88	1,0	5,3	6,6	Cumple
5,1	TR5000	0,3	0,36	1,0	0,66	1,66	1,0	5,3	6,6	Cumple
5,4	TR5000	0,3	0,35	1,0	0,44	1,44	1,0	5,3	6,6	Cumple
5,7	TR5000	0,3	0,33	1,0	0,22	1,22	1,0	5,3	6,6	Cumple
6,0	TR5000	0,3	0,31	1,0	0,00	1,00	1,0	5,3	6,6	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.34. Dimensiones del muro reforzado



Fuente: Elaboración propia.

- Parámetros de entrada de análisis de estabilidad interna donde se muestra los datos del suelo de fundación y el dato del suelo a confinar y los factores de seguridad donde se encuentran en una tabla anteriormente.

Figura 4.35. Parámetros de entrada análisis de estabilidad externa

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft PAVCO

DATOS DEL SUELO DE FUNDACIÓN

Ángulo de Fricción interna ϕ : 25,0 grad

Cohesión C: 1,1 Ton/m²

Peso Unitario γ : 2,2 Ton/m³

FACTORES DE SEGURIDAD

	Condición Estática	Condición Dinámica
Deslizamiento \geq	1,5	1,125
Volcamiento \geq	2,0	1,5
Cap. Portante \geq	3,0	

DATOS DEL SUELO A CONFINAR

Ángulo de Fricción Interna ϕ : 20,0 grad

Cohesión C: 1,4 Ton/m²

Peso Unitario γ : 2,2 Ton/m³

PARÁMETROS DE INTERACCIÓN SUELO - REFUERZO

Fricción entre el suelo de fundación y el geosintético δ_{SPUT} : 21,25 grad

Fricción entre el muro y el suelo a confinar δ_{CRST} : 16,0 grad

OTROS

Tipo de Análisis Capacidad Portante: Drenado (Largo Plazo) No Drenado (Corto Plazo)

Profundidad de desplante de la cimentación (z): 1,0 m

CARGAS DINÁMICAS

Aceleraciones de Sismo

$a_h = 0,0$

$a_v = 0,0$

Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se verifica las estabilidades tanto como al deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante del terreno que sea suficiente competente para soportar las cargas producidas.

Figura 4.36. Proceso de cálculo y resultado análisis de estabilidad externa



Fuente: Elaboración propia.

- Estabilidad al deslizamiento donde se pudo verificar que las fuerzas horizontales externas no originan un desplazamiento al muro, $FS_D = 1,52 > 1,5$
- Estabilidad al volcamiento donde se debe revisar que el momento producido por las fuerzas horizontales actuantes comparadas con el momento generado por las fuerzas resistentes no vaya a ocasionar un volcamiento al muro, $FS_V = 3,82 > 2,0$
- Capacidad portante donde se revisa que el terreno sea lo suficientemente competente para soportar las cargas producidas para la construcción del muro, donde la profundidad de fundación debe tener un valor mínimo, $FS_{CP} = 4,29 > 3,0$

4.2.1.7. Talud 7.- Barrio san Antonio (2)

- Parámetro de entrada de las propiedades geomecánicas del suelo de relleno donde ya se mencionó con una altura de 5,5 metros, dando así una base adecuada de 4,4 metros teniendo en cuenta los factores de seguridad adecuado.

Figura 4.37. Parámetros de entrada análisis de estabilidad interna

Geosoft Pavco v3.0

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft® PAVCO

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL SUELO DE RELLENO

Ángulo de Fricción interna ϕ	29,0	grad
Cohesión C	1,2	Ton/m ²
Peso Unitario γ	2,2	Ton/m ³

DATOS DEL MURO

Altura Máxima H	5,5	m
Base del Muro B	4,4	m
<input type="button" value="Sugerir Base del muro"/>		
Inclinación Talud sobre la corona del Muro β	10,0	grad
Inclinación de la Cara del Muro α	85,0	grad

EVALUACIÓN DE CARGAS

Cargas Uniformes Sobre el Muro S_c	0,88	Ton/m ²
¿Desea incluir Cargas Vehiculares?	<input type="radio"/> SI <input checked="" type="radio"/> NO	
¿Desea incluir Cargas Concentradas?	<input type="radio"/> SI <input checked="" type="radio"/> NO	

FACTORES DE SEGURIDAD

Factor de Seguridad Global	1,3
Factor de Seguridad por Daños de Instalación	1,2

PARÁMETROS DE INTERACCIÓN SUELO - REFUERZO

Fricción entre el suelo a usarse en la construcción del muro y el geosintético δ_{ref}	23,2	grad
--	------	------

← ? →

Fuente: Elaboración propia.

- Para este paso se usará ambos geotextiles si es conveniente, la longitud mínima de empalme de diseño es de 1,0 metro, y los factores de reducción del para ambos del geotextil y geomalla mencionados en una tabla anteriormente.

Figura 4.38. Proceso de cálculo

The screenshot shows the 'Geosoft Pavco v3.0' software interface. The main title is 'MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO'. The interface is divided into several sections:

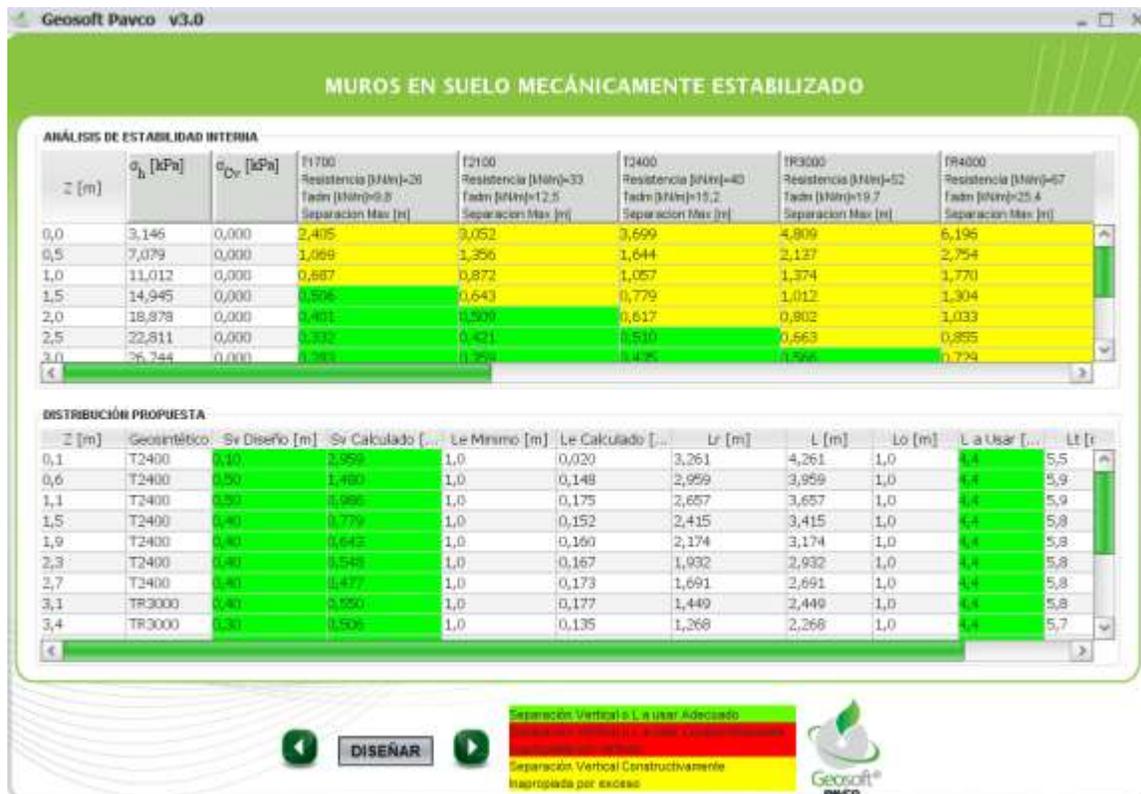
- GEOSINTÉTICO A USAR:** Radio buttons for 'Geotextil', 'Geomalla', and 'Ambos' (selected).
- FACTORES DE REDUCCIÓN GEOTEXTIL:** Input fields for 'Factor de Reducción por Fluencia de Material' (2,2) and 'Factor de Reducción por Degradación Química y Biológica' (1,0).
- FACTORES DE REDUCCIÓN GEOMALLA:** Input fields for 'Factor de Reducción por Fluencia de Material' (2,2) and 'Degradación Química y Biológica' (1,0).
- LONGITUDES DE DISEÑO:** Input fields for 'L_e Mínimo' (1,0) and 'L_o a usar' (1,0), both in meters.

On the right side, there is a technical diagram of a soil wall cross-section. It shows a wall of height 'H' with three layers of geosynthetic reinforcement. The diagram labels the design length 'L_o', the overlap length 'L_e', and the total length 'L'. A dashed line indicates a failure surface with an angle of 'δ + 0,1/2'. The vertical spacing between layers is 'S_v'.

Fuente: Elaboración propia.

- En la distribución de análisis de estabilidad interna donde se muestra las diferentes resistencias ultima del geotextil, donde se tomará la resistencia de acuerdo a los parámetros de resistencia del suelo.

Figura 4.39. Resultados análisis de estabilidad interna



Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se muestra la distribución propuesta, las separaciones verticales son adecuados a usar de acuerdo a los diferentes tipos de geosintéticos.
- Las longitudes de empotramiento y de anclaje o de doblaje que será de un 1,0 metro como mínimo.
- Debido a que no solo se debe garantizar la estabilidad interna del muro sino también la estabilidad externa, la longitud total a usar en los refuerzos será al 80% de la altura del muro.

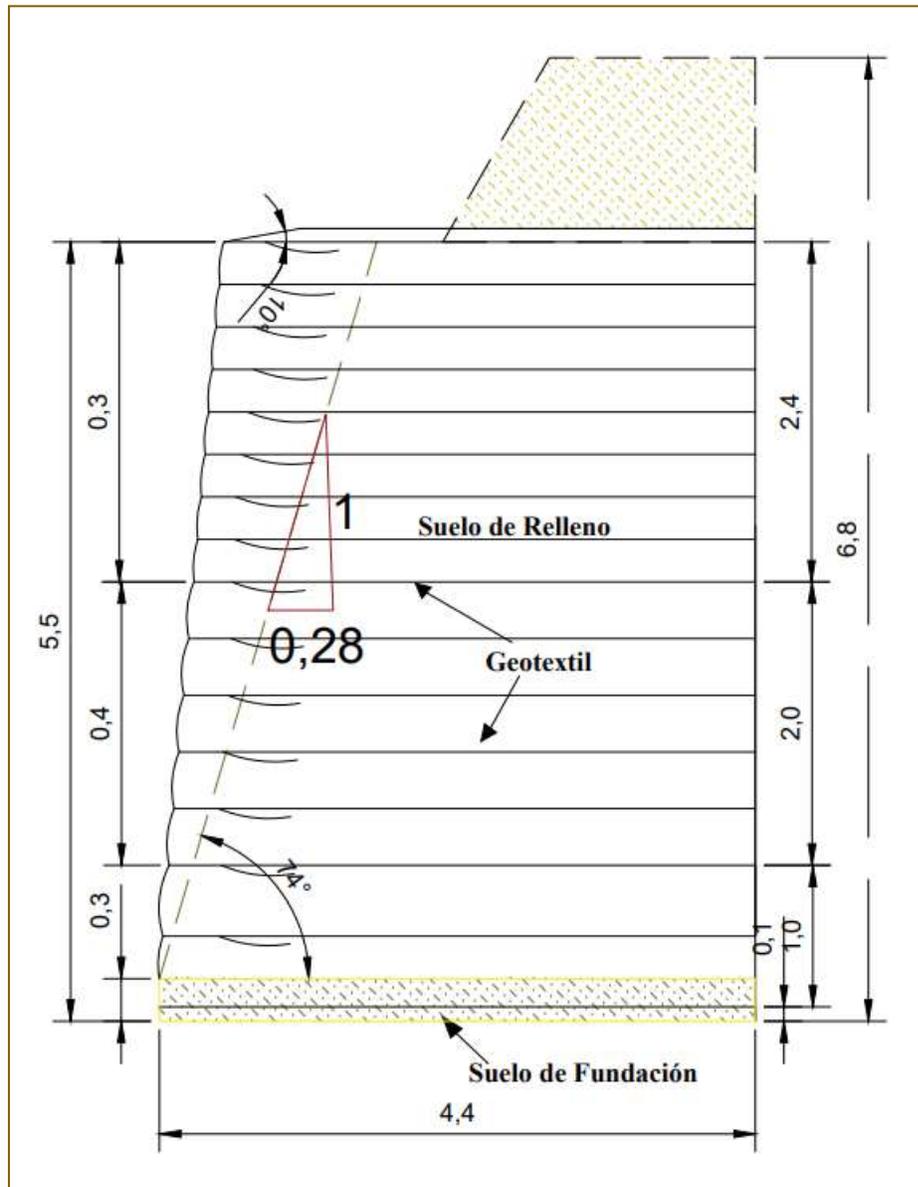
A continuación, se muestra la distribución general en la siguiente tabla:

Tabla 4.13. Diseño del muro

Z (m)	Geosintético	Sv Diseño (m)	Sv Calculado (m)	Le Mínimo (m)	Lr (m)	L (m)	Lo (m)	L a Usar (m)	Lt (m)	Fs×Sv
0,1	T2400	0,1	2,96	1,0	3,26	4,26	1,0	4,4	5,5	Cumple
0,6	T2400	0,5	1,48	1,0	2,96	3,96	1,0	4,4	5,9	Cumple
1,1	T2400	0,5	0,99	1,0	2,66	3,66	1,0	4,4	5,9	Cumple
1,5	T2400	0,4	0,78	1,0	2,42	3,42	1,0	4,4	5,8	Cumple
1,9	T2400	0,4	0,64	1,0	2,17	3,17	1,0	4,4	5,8	Cumple
2,3	T2400	0,4	0,55	1,0	1,93	2,93	1,0	4,4	5,8	Cumple
2,7	T2400	0,4	0,48	1,0	1,69	2,69	1,0	4,4	5,8	Cumple
3,1	TR3000	0,4	0,55	1,0	1,45	2,45	1,0	4,4	5,8	Cumple
3,4	TR3000	0,3	0,51	1,0	1,27	2,27	1,0	4,4	5,7	Cumple
3,7	TR3000	0,3	0,47	1,0	1,09	2,09	1,0	4,4	5,7	Cumple
4,0	TR3000	0,3	0,44	1,0	0,91	1,91	1,0	4,4	5,7	Cumple
4,3	TR3000	0,3	0,41	1,0	0,73	1,73	1,0	4,4	5,7	Cumple
4,6	TR3000	0,3	0,39	1,0	0,54	1,54	1,0	4,4	5,7	Cumple
4,9	TR3000	0,3	0,36	1,0	0,36	1,36	1,0	4,4	5,7	Cumple
5,2	TR3000	0,3	0,34	1,0	0,18	1,18	1,0	4,4	5,7	Cumple
5,5	TR3000	0,3	0,33	1,0	0,00	1,00	1,0	4,4	5,7	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.40. Dimensiones del muro reforzado



Fuente: Elaboración propia.

- Parámetros de entrada de análisis de estabilidad interna donde se muestra los datos del suelo de fundación y el dato del suelo a confinar y los factores de seguridad donde se encuentran en una tabla anteriormente.

Figura 4.41. Parámetros de entrada análisis de estabilidad externa

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

DATOS DEL SUELO DE FUNDACIÓN

Ángulo de Fricción interna ϕ : 25,0 [grad]

Cohesión C: 1,2 [Ton/m²]

Peso Unitario γ : 2,2 [Ton/m³]

FACTORES DE SEGURIDAD

	Condición Estática	Condición Dinámica
Deslizamiento \geq	1,5	1,125
Volcamiento \geq	2,0	1,5
Cap. Portante \geq	3,0	

DATOS DEL SUELO A CONFINAR

Ángulo de Fricción Interna ϕ : 29,0 [grad]

Cohesión C: 1,2 [Ton/m²]

Peso Unitario γ : 2,2 [Ton/m³]

PARÁMETROS DE INTERACCIÓN SUELO - REFUERZO

Fricción entre el suelo de fundación y el geosintético δ_{SPORT} : 22,1 [grad]

Fricción entre el muro y el suelo a confinar δ_{MROT} : 23,2 [grad]

OTROS

Tipo de Análisis Capacidad Portante: Drenado (Largo Plazo) No Drenado (Corto Plazo)

Profundidad de desplante de la cimentación (z): 0,3 [m]

CARGAS DINÁMICAS

Aceleraciones de Sismo

$a_h = 0,0$

$a_v = 0,0$ [Asumir 10% de a_h]

Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se verifica las estabilidades tanto como al deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante del terreno que sea suficiente competente para soportar las cargas producidas.

Figura 4.42. Proceso de cálculo y resultado análisis de estabilidad externa



Fuente: Elaboración propia.

- Estabilidad al deslizamiento donde se pudo verificar que las fuerzas horizontales externas no originan un desplazamiento al muro, $FS_D = 2,07 > 1,5$
- Estabilidad al volcamiento donde se debe revisar que el momento producido por las fuerzas horizontales actuantes comparadas con el momento generado por las fuerzas resistentes no vaya a ocasionar un volcamiento al muro, $FS_V = 4,64 > 2,0$
- Capacidad portante donde se revisa que el terreno sea lo suficientemente competente para soportar las cargas producidas para la construcción del muro, donde la profundidad de fundación debe tener un valor mínimo, $FS_{CP} = 4,45 > 3,0$

4.2.1.8. Talud 8.- Barrio La loma

- Parámetro de entrada de las propiedades geomecánicas del suelo de relleno donde ya se mencionó con una altura de 5,0 metros, dando así una base adecuada de 4,0 metros teniendo en cuenta los factores de seguridad adecuado.

Figura 4.43. Parámetros de entrada análisis de estabilidad interna

Geosoft Pavco v3.0

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft PAVCO

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL SUELO DE RELLENO

Ángulo de Fricción interna ϕ 28,0 grad

Cohesión C 1,2 Ton/m²

Peso Unitario γ 2,2 Ton/m³

DATOS DEL MURO

Altura Máxima H 5,0 m

Base del Muro B 4,0 m

Sugerir Base del muro

Inclinación Talud sobre la corona del Muro β 10,0 grad

Inclinación de la Cara del Muro α 85,0 grad

EVALUACIÓN DE CARGAS

Cargas Uniformes Sobre el Muro S_c 0,68 Ton/m²

¿Desea incluir Cargas Vehiculares? SI NO

¿Desea incluir Cargas Concentradas? SI NO

FACTORES DE SEGURIDAD

Factor de Seguridad Global 1,3

Factor de Seguridad por Daños de Instalación 1,2

PARÁMETROS DE INTERACCIÓN SUELO - REFUERZO

Fricción entre el suelo a usarse en la construcción del muro y el geosintético δ_{TOT} 22,4 grad

Fuente: Elaboración propia.

- Para este paso se usará la geomalla uniaxial coextruída, la longitud mínima de empalme de diseño es de 1,0 metro, y los factores de reducción del para ambos del geotextil y geomalla mencionados en una tabla anteriormente.

Figura 4.44. Proceso de cálculo

Geosoft Pavco v3.0

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft® PAVCO

GEOSINTÉTICO A USAR
 Geotextil Geomalla Ambos

LONGITUDES DE DISEÑO
 L_e Mínimo 1,0 m
 L_o a usar 1,0 m

FACTORES DE REDUCCIÓN GEOTEXTIL
Factor de Reducción por Fluencia de Material: 2,2
Factor de Reducción por Degradación Química y Biológica: 1,0

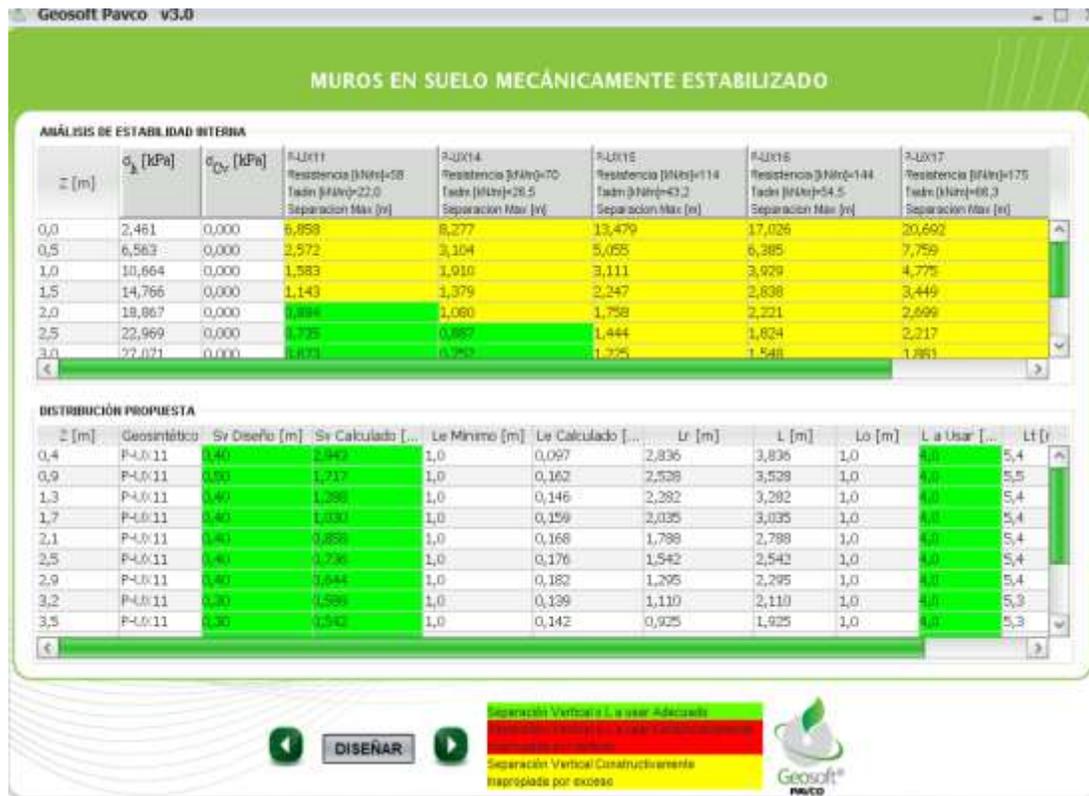
FACTORES DE REDUCCIÓN GEOMALLA
Factor de Reducción por Fluencia de Material: 2,2
Degradación Química y Biológica: 1,0

Diagrama de estabilidad interna con parámetros: L_o , L_R , L_e , L , S_y , S_x , H .

Fuente: Elaboración propia.

- En la distribución de análisis de estabilidad interna donde se muestra las diferentes resistencias ultima del geotextil, donde se tomará la resistencia de acuerdo a los parámetros de resistencia del suelo.

Figura 4.45. Resultados análisis de estabilidad interna



Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se muestra la distribución propuesta, las separaciones verticales son adecuados a usar de acuerdo a los diferentes tipos de geosintéticos.
- Las longitudes de empotramiento y de anclaje o de doblaje que será de un 1,0 metro como mínimo.
- Debido a que no solo se debe garantizar la estabilidad interna del muro sino también la estabilidad externa, la longitud total a usar en los refuerzos será al 80% de la altura del muro.

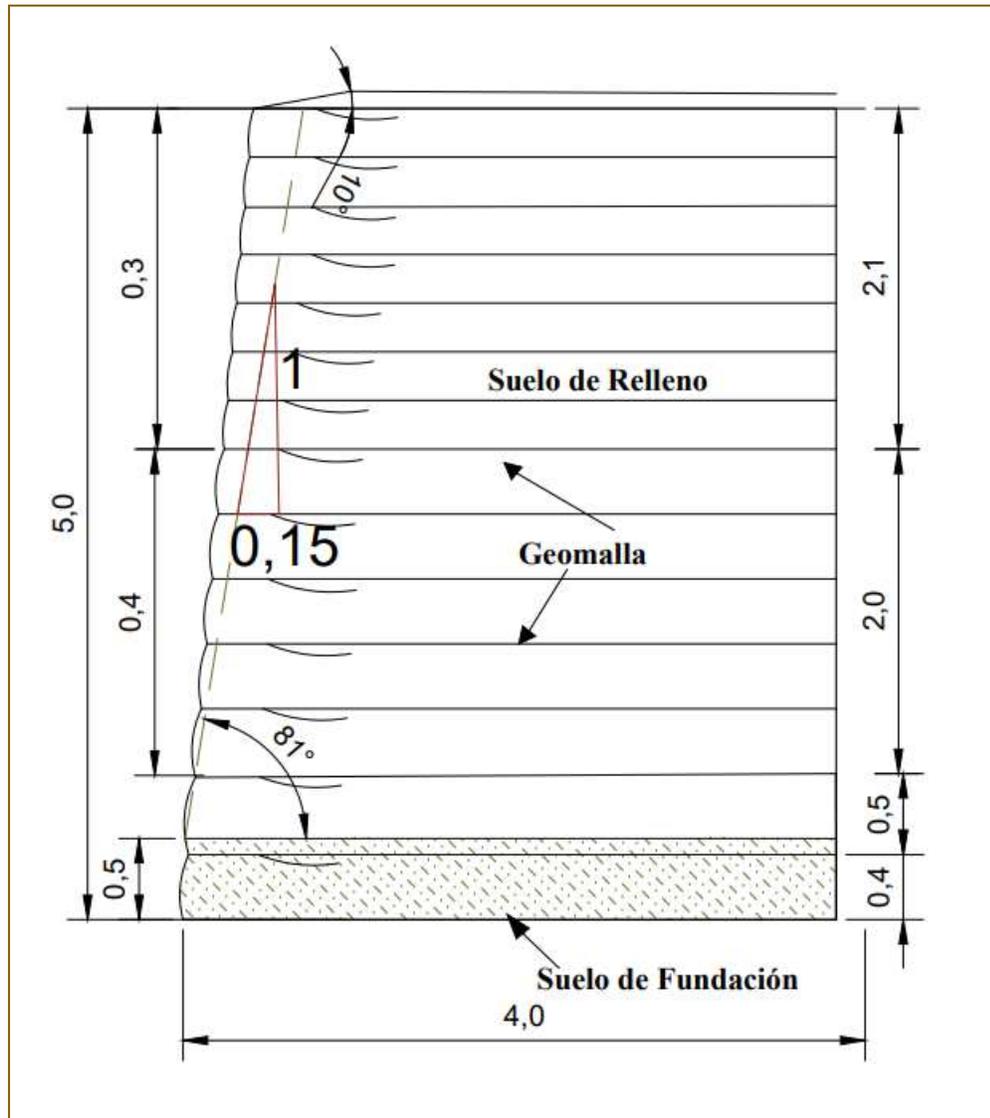
A continuación, se muestra la distribución general en la siguiente tabla:

Tabla 4.14. Diseño del muro

Z (m)	Geosintético	Sv Diseño (m)	Sv Calculado (m)	Le Mínimo (m)	Lr (m)	L (m)	Lo (m)	L a Usar (m)	Lt (m)	Fs×Sv
0,4	P-UX11	0,4	2,94	1,0	2,84	3,84	1,0	4,0	5,4	Cumple
0,9	P-UX11	0,5	1,72	1,0	2,53	3,53	1,0	4,0	5,5	Cumple
1,3	P-UX11	0,4	1,29	1,0	2,28	3,28	1,0	4,0	5,4	Cumple
1,7	P-UX11	0,4	1,03	1,0	2,04	3,04	1,0	4,0	5,4	Cumple
2,1	P-UX11	0,4	0,86	1,0	1,79	2,79	1,0	4,0	5,4	Cumple
2,5	P-UX11	0,4	0,74	1,0	1,54	2,54	1,0	4,0	5,4	Cumple
2,9	P-UX11	0,4	0,64	1,0	1,30	2,30	1,0	4,0	5,4	Cumple
3,2	P-UX11	0,3	0,59	1,0	1,11	2,11	1,0	4,0	5,3	Cumple
3,5	P-UX11	0,3	0,54	1,0	0,93	1,93	1,0	4,0	5,3	Cumple
3,8	P-UX11	0,3	0,50	1,0	0,74	1,74	1,0	4,0	5,3	Cumple
4,1	P-UX11	0,3	0,47	1,0	0,56	1,56	1,0	4,0	5,3	Cumple
4,4	P-UX11	0,3	0,44	1,0	0,37	1,37	1,0	4,0	5,3	Cumple
4,7	P-UX11	0,3	0,41	1,0	0,19	1,19	1,0	4,0	5,3	Cumple
5,0	P-UX11	0,3	0,39	1,0	0,00	1,00	1,0	4,0	5,3	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.46. Dimensiones del muro reforzado



Fuente: Elaboración propia.

- Parámetros de entrada de análisis de estabilidad interna donde se muestra los datos del suelo de fundación y el dato del suelo a confinar y los factores de seguridad donde se encuentran en una tabla anteriormente.

Figura 4.47. Parámetros de entrada análisis de estabilidad externa

Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se verifica las estabilidades tanto como al deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante del terreno que sea suficiente competente para soportar las cargas producidas.

Figura 4.48. Proceso de cálculo y resultado análisis de estabilidad externa

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft PAVCO

COEFICIENTES DE PRESIÓN LATERAL DE TIERRA

Valor de coeficiente de Presión Activa Estática K_a : 0,38

Valor del coeficiente de Presión Activa Dinámico K_{ad} : 0,369

CAPACIDAD PORTANTE

N_c : 25,8 σ_{ULT} [kPa]: 1183,76

N_q : 14,72 $\sigma_{aplicado}$ [kPa]: 189,97

N_γ : 16,72 F.S.: 6,23

Observación: Cumple

Excentricidad [m]: 0,44 Observación: Cumple

ESTABILIDAD AL DESLIZAMIENTO

	Condición Estática	Observación	Condición Dinámica	Observación
Σ Fuerzas Resistentes [kN]	255,89		255,89	
Σ Fuerzas Actuantes [kN]	114,85		111,5	
Factor Seguridad Calculado	2,23	Cumple	2,3	Cumple

ESTABILIDAD AL VOLCAMIENTO

	Condición Estática	Observación	Condición Dinámica	Observación
Σ Momentos Resistentes [kN*m]	914,76		914,76	
Σ Momentos Actuantes [kN*m]	201,66		185,79	
Factor Seguridad Calculado	4,54	Cumple	4,67	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

- Estabilidad al deslizamiento donde se pudo verificar que las fuerzas horizontales externas no originan un desplazamiento al muro, $FS_D = 2,23 > 1,5$
- Estabilidad al volcamiento donde se debe revisar que el momento producido por las fuerzas horizontales actuantes comparadas con el momento generado por las fuerzas resistentes no vaya a ocasionar un volcamiento al muro, $FS_V = 4,54 > 2,0$
- Capacidad portante donde se revisa que el terreno sea lo suficientemente competente para soportar las cargas producidas para la construcción del muro, donde la profundidad de fundación debe tener un valor mínimo, $FS_{CP} = 6,23 > 3,0$

4.2.1.9. Talud 9.- Barrio Mira Flores

- Parámetro de entrada de las propiedades geomecánicas del suelo de relleno donde ya se mencionó con una altura de 5,0 metros, dando así una base adecuada de 4,2 metros teniendo en cuenta los factores de seguridad adecuado.

Figura 4.49. Parámetros de entrada análisis de estabilidad interna

Geosoft Pavco v3.0

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft® PAVCO

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL SUELO DE RELLENO

Ángulo de Fricción interna ϕ : 24,0 grad

Cohesión C: 1,1 Ton/m²

Peso Unitario γ : 2,2 Ton/m³

DATOS DEL MURO

Altura Máxima H: 5,0 m

Base del Muro B: 4,2 m

Sugerir Base del muro

Inclinación Talud sobre la corona del Muro β : 10,0 grad

Inclinación de la Cara del Muro α : 85,0 grad

EVALUACIÓN DE CARGAS

Cargas Uniformes Sobre el Muro S_c : 0,66 Ton/m²

¿Desea incluir Cargas Vehiculares? SI NO

¿Desea incluir Cargas Concentradas? SI NO

FACTORES DE SEGURIDAD

Factor de Seguridad Global: 1,3

Factor de Seguridad por Daños de Instalación: 1,2

PARÁMETROS DE INTERACCIÓN SUELO - REFUERZO

Fricción entre el suelo a usarse en la construcción del muro y el geosintético δ_{TOT} : 19,2 grad

Fuente: Elaboración propia.

- Para este paso se usará ambos geotextiles si es conveniente, la longitud mínima de empalme de diseño es de 1,0 metro, y los factores de reducción del para ambos del geotextil y geomalla mencionados en una tabla anteriormente.

Figura 4.50. Proceso de cálculo

The screenshot shows the 'Geosoft Pavco v3.0' software interface. The title bar reads 'Geosoft Pavco v3.0'. The main header area contains the text 'MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO' and the 'Geosoft PAVCO' logo. The interface is divided into several sections:

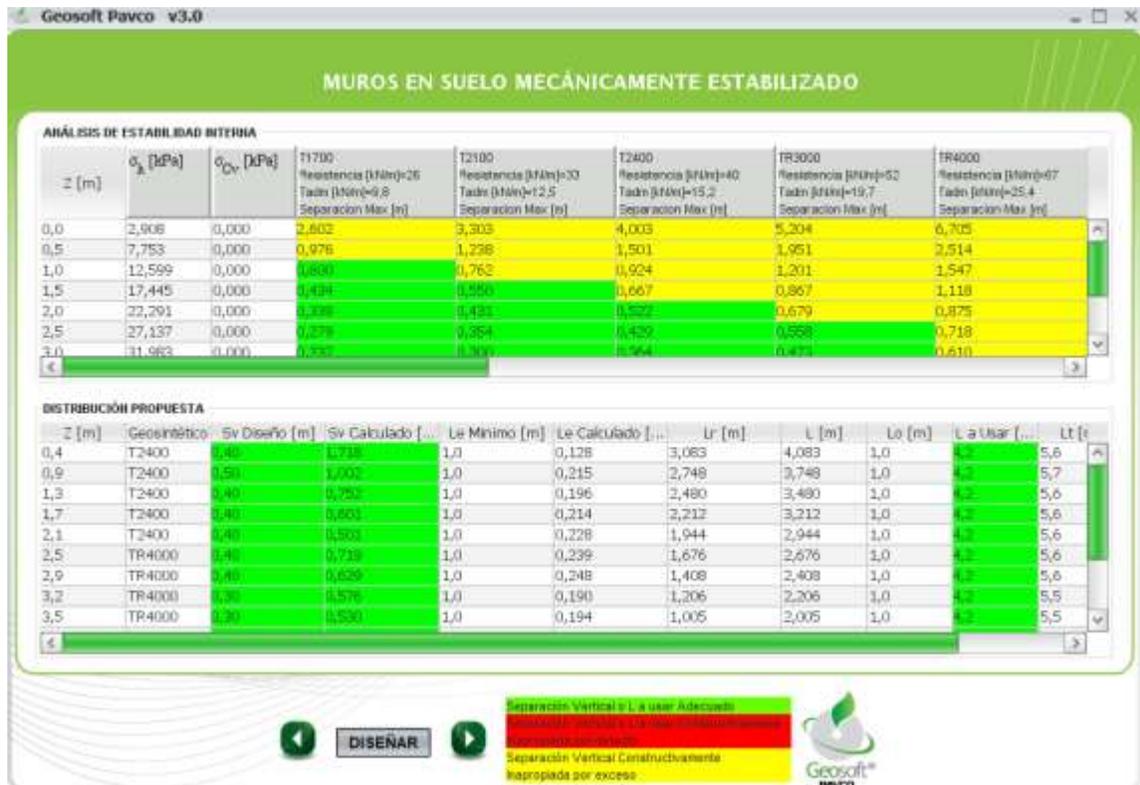
- GEOSINTÉTICO A USAR:** A section with three radio buttons: 'Geotextil', 'Geomalla', and 'Ambos'. The 'Ambos' option is selected and circled in red.
- LONGITUDES DE DISEÑO:** Two input fields for design lengths. 'L_e Mínimo' is set to 1,0 m, and 'L_o a usar' is set to 1,0 m.
- FACTORES DE REDUCCIÓN GEOTEXTIL:** Two input fields. 'Factor de Reducción por Fluencia de Material' is 2,2, and 'Factor de Reducción por Degradación Química y Biológica' is 1,0.
- FACTORES DE REDUCCIÓN GEOMALLA:** Two input fields. 'Factor de Reducción por Fluencia de Material' is 2,2, and 'Degradación Química y Biológica' is 1,0.
- Diagram:** A technical cross-section diagram of a soil wall of height 'H'. It shows three layers of reinforcement. The top layer has a length 'L_o'. The middle layer has a length 'L_e'. The bottom layer has a length 'L'. A dashed line indicates a 45-degree angle from the bottom corner, with a label '45° x D/2'. The vertical spacing between reinforcement layers is labeled 'S_v'.

At the bottom of the interface, there are three navigation buttons: a left arrow, a question mark, and a right arrow.

Fuente: Elaboración propia.

- En la distribución de análisis de estabilidad interna donde se muestra las diferentes resistencias ultima del geotextil, donde se tomará la resistencia de acuerdo a los parámetros de resistencia del suelo.

Figura 4.51. Resultados análisis de estabilidad interna



Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se muestra la distribución propuesta, las separaciones verticales son adecuadas a usar de acuerdo a los diferentes tipos de geosintéticos.
- Las longitudes de empotramiento y de anclaje o de doblaje que será de un 1,0 metro como mínimo.
- Debido a que no solo se debe garantizar la estabilidad interna del muro sino también la estabilidad externa, la longitud total a usar en los refuerzos será al 80% de la altura del muro.

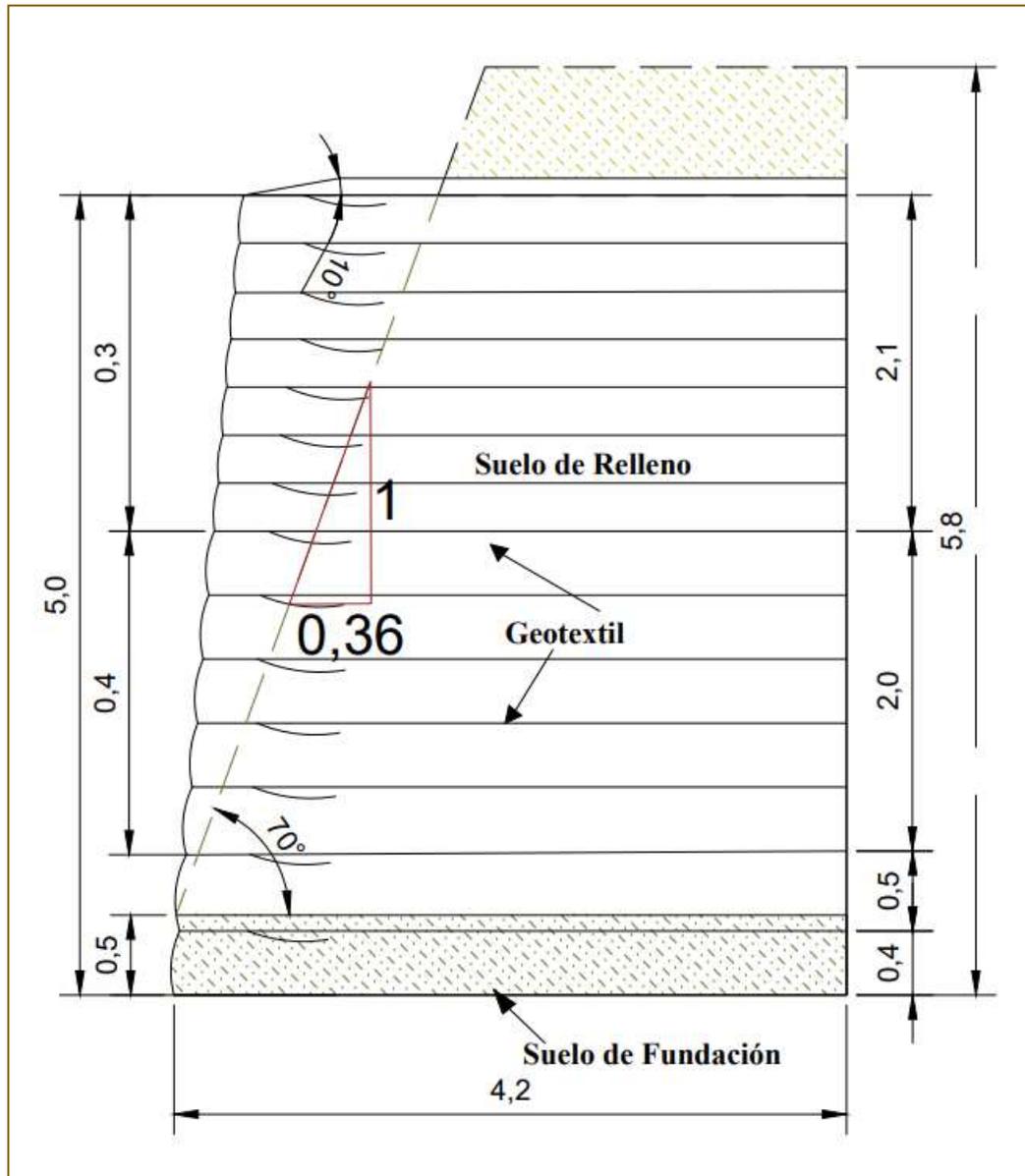
A continuación, se muestra la distribución general en la siguiente tabla:

Tabla 4.15. Diseño del muro

Z (m)	Geosintético	Sv Diseño (m)	Sv Calculado (m)	Le Mínimo (m)	Lr (m)	L (m)	Lo (m)	L a Usar (m)	Lt (m)	Fs×Sv
0,4	T2400	0,4	1,72	1,0	3,08	4,08	1,0	4,2	5,6	Cumple
0,9	T2400	0,5	1,00	1,0	2,75	3,75	1,0	4,2	5,7	Cumple
1,3	T2400	0,4	0,75	1,0	2,48	3,48	1,0	4,2	5,6	Cumple
1,7	T2400	0,4	0,60	1,0	2,21	3,21	1,0	4,2	5,6	Cumple
2,1	T2400	0,4	0,50	1,0	1,94	2,94	1,0	4,2	5,6	Cumple
2,5	TR4000	0,4	0,72	1,0	1,68	2,68	1,0	4,2	5,6	Cumple
2,9	TR4000	0,4	0,63	1,0	1,41	2,41	1,0	4,2	5,6	Cumple
3,2	TR4000	0,3	0,58	1,0	1,21	2,21	1,0	4,2	5,5	Cumple
3,5	TR4000	0,3	0,53	1,0	1,01	2,01	1,0	4,2	5,5	Cumple
3,8	TR4000	0,3	0,49	1,0	0,80	1,80	1,0	4,2	5,5	Cumple
4,1	TR4000	0,3	0,46	1,0	0,60	1,60	1,0	4,2	5,5	Cumple
4,4	TR4000	0,3	0,43	1,0	0,40	1,40	1,0	4,2	5,5	Cumple
4,7	TR4000	0,3	0,40	1,0	0,20	1,20	1,0	4,2	5,5	Cumple
5,0	TR4000	0,3	0,38	1,0	0,00	1,00	1,0	4,2	5,5	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.52. Dimensiones del muro reforzado



Fuente: Elaboración propia.

- Parámetros de entrada de análisis de estabilidad interna donde se muestra los datos del suelo de fundación y el dato del suelo a confinar y los factores de seguridad donde se encuentran en una tabla anteriormente.

Figura 4.53. Parámetros de entrada análisis de estabilidad externa

Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se verifica las estabildades tanto como al deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante del terreno que sea suficiente competente para soportar las cargas producida.

Figura 4.54. Proceso de cálculo y resultado análisis de estabilidad externa



Fuente: Elaboración propia.

- Estabilidad al deslizamiento donde se pudo verificar que las fuerzas horizontales externas no originan un desplazamiento al muro, $FS_D = 1,69 > 1,5$
- Estabilidad al volcamiento donde se debe revisar que el momento producido por las fuerzas horizontales actuantes comparadas con el momento generado por las fuerzas resistentes no vaya a ocasionar un volcamiento al muro, $FS_V = 4,23 > 2,0$
- Capacidad portante donde se revisa que el terreno sea lo suficientemente competente para soportar las cargas producidas para la construcción del muro, donde la profundidad de fundación debe tener un valor mínimo, $FS_{CP} = 3,79 > 3,0$

4.2.1.10. Talud 10.- Av. Integración

- Parámetro de entrada de las propiedades geomecánicas del suelo de relleno donde ya se mencionó con una altura de 9,0 metros, dando así una base adecuada de 6,8 metros teniendo en cuenta los factores de seguridad adecuado.

Figura 4.55. Parámetros de entrada análisis de estabilidad interna

Geosoft Pavco V3.0

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft PAVCO

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL SUELO DE RELLENO

Ángulo de Fricción Interna ϕ : 26,0 grad

Cohesión C: 1,2 Ton/m²

Peso Unitario γ : 2,2 Ton/m³

DATOS DEL MURO

Altura Máxima H: 9,0 m

Base del Muro B: 6,8 m

Sugerir Base del muro

Inclinación Talud sobre la corona del Muro β : 8,0 grad

Inclinación de la Cara del Muro α : 85,0 grad

EVALUACIÓN DE CARGAS

Cargas Uniformes Sobre el Muro S_c : 0,44 Ton/m²

¿Desea incluir Cargas Vehiculares? SI NO

¿Desea incluir Cargas Concentradas? SI NO

FACTORES DE SEGURIDAD

Factor de Seguridad Global: 1,3

Factor de Seguridad por Daños de Instalación: 1,2

PARÁMETROS DE INTERACCIÓN SUELO - REFUERZO

Fricción entre el suelo a usarse en la construcción del muro y el geosintético δ_{sot} : 20,8 grad

Fuente: Elaboración propia.

- Para este paso se usará geomalla uniaxial coextruída, la longitud mínima de empalme de diseño es de 1.0 metro, y los factores de reducción del para ambos del geotextil y geomalla mencionados en una tabla anteriormente.

Figura 4.56. Proceso de cálculo

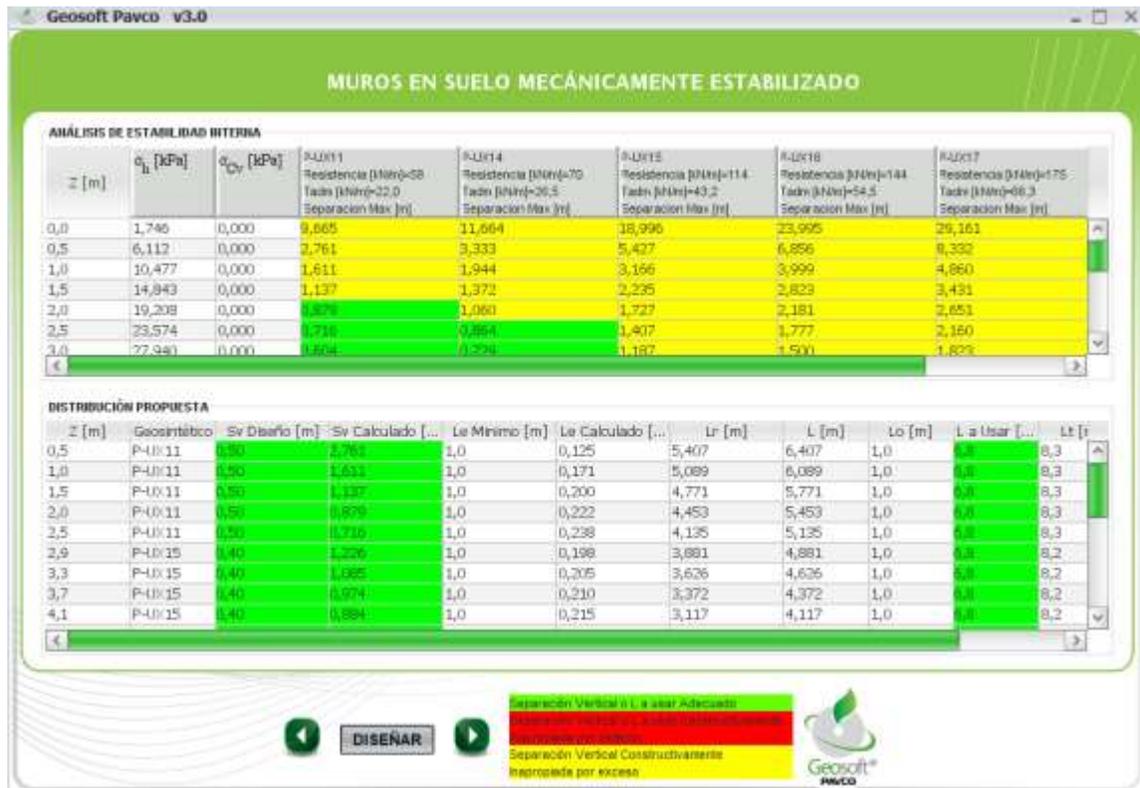
The screenshot shows the 'Geosoft Pavco v3.0' software interface. The main title is 'MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO'. The interface is divided into several sections:

- GEOSINTÉTICO A USAR:** Radio buttons for 'Geotextil', 'Geomalla' (selected), and 'Ambos'.
- LONGITUDES DE DISEÑO:** Input fields for 'L_e Mínimo' (1,0) and 'L_o a usar' (1,0), both with units set to 'm'. This section is circled in the image.
- FACTORES DE REDUCCIÓN GEOTEXTIL:** Input fields for 'Factor de Reducción por Fluencia de Material' (2,2) and 'Factor de Reducción por Degradación Química y Biológica' (1,0).
- FACTORES DE REDUCCIÓN GEOMALLA:** Input fields for 'Factor de Reducción por Fluencia de Material' (2,2) and 'Degradación Química y Biológica' (1,0).
- Diagram:** A schematic showing two overlapping layers of geosynthetic material. The total length of the overlap is labeled L_0 . The length of the overlap for each layer is labeled L_e . The total length of the combined layers is labeled L . The diagram also shows a vertical dimension H and a curved line representing a failure surface.

Fuente: Elaboración propia.

- En la distribución de análisis de estabilidad interna donde se muestra las diferentes resistencias ultima del geotextil, donde se tomará la resistencia de acuerdo a los parámetros de resistencia del suelo.

Figura 4.57. Resultados análisis de estabilidad interna



Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se muestra la distribución propuesta, las separaciones verticales son adecuadas a usar de acuerdo a los diferentes tipos de geosintéticos.
- Las longitudes de empotramiento y de anclaje o de doblaje que será de un 1,0 metro como mínimo.
- Debido a que no solo se debe garantizar la estabilidad interna del muro sino también la estabilidad externa, la longitud total a usar en los refuerzos será al 80% de la altura del muro.

A continuación, se muestra la distribución general en la siguiente tabla:

Tabla 4.16. Diseño del muro

Z (m)	Geosintético	Sv Diseño (m)	Sv Calculado (m)	Le Mínimo (m)	Lr (m)	L (m)	Lo (m)	L a Usar (m)	Lt (m)	Fs×Sv
0,5	P-UX11	0,5	2,77	1,0	5,41	6,41	1,0	6,8	8,3	Cumple
1,0	P-UX11	0,5	1,61	1,0	5,09	6,09	1,0	6,8	8,3	Cumple
1,5	P-UX11	0,5	1,14	1,0	4,77	5,77	1,0	6,8	8,3	Cumple
2,0	P-UX11	0,5	0,88	1,0	4,45	5,45	1,0	6,8	8,3	Cumple
2,5	P-UX11	0,5	0,72	1,0	4,14	5,14	1,0	6,8	8,3	Cumple
2,9	P-UX15	0,4	1,23	1,0	3,88	4,88	1,0	6,8	8,2	Cumple
3,3	P-UX15	0,4	1,09	1,0	3,63	4,63	1,0	6,8	8,2	Cumple
3,7	P-UX15	0,4	0,98	1,0	3,37	4,37	1,0	6,8	8,2	Cumple
4,1	P-UX15	0,4	0,89	1,0	3,12	4,12	1,0	6,8	8,2	Cumple
4,5	P-UX15	0,4	0,81	1,0	2,86	3,86	1,0	6,8	8,2	Cumple
4,9	P-UX15	0,4	0,75	1,0	2,61	3,61	1,0	6,8	8,2	Cumple
5,3	P-UX15	0,4	0,69	1,0	2,35	3,35	1,0	6,8	8,2	Cumple
5,7	P-UX15	0,4	0,65	1,0	2,10	3,10	1,0	6,8	8,2	Cumple
6,0	P-UX15	0,3	0,61	1,0	1,91	2,91	1,0	6,8	8,1	Cumple
6,3	P-UX15	0,3	0,59	1,0	1,72	2,72	1,0	6,8	8,1	Cumple
6,6	P-UX15	0,3	0,56	1,0	1,53	2,53	1,0	6,8	8,1	Cumple
6,9	P-UX15	0,3	0,54	1,0	1,34	2,34	1,0	6,8	8,1	Cumple
7,2	P-UX15	0,3	0,51	1,0	1,15	2,15	1,0	6,8	8,1	Cumple
7,5	P-UX15	0,3	0,49	1,0	0,95	1,95	1,0	6,8	8,1	Cumple
7,8	P-UX15	0,3	0,48	1,0	0,76	1,76	1,0	6,8	8,1	Cumple
8,1	P-UX15	0,3	0,46	1,0	0,57	1,57	1,0	6,8	8,1	Cumple
8,4	P-UX15	0,3	0,44	1,0	0,38	1,38	1,0	6,8	8,1	Cumple
8,7	P-UX15	0,3	0,43	1,0	0,19	1,19	1,0	6,8	8,1	Cumple
9,0	P-UX15	0,3	0,41	1,0	0,00	1,00	1,0	6,8	8,1	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

- Parámetros de entrada de análisis de estabilidad interna donde se muestra los datos del suelo de fundación y el dato del suelo a confinar y los factores de seguridad donde se encuentran en una tabla anteriormente.

Figura 4.59. Parámetros de entrada análisis de estabilidad externa

Fuente: Elaboración propia.

- En este paso se verifica las estabilidades tanto como al deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante del terreno que sea suficiente competente para soportar las cargas producidas.

Figura 4.60. Proceso de cálculo y resultado análisis de estabilidad externa

MUROS EN SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

Geosoft PAVCO

COEFICIENTES DE PRESIÓN LATERAL DE TIERRA

Valor de coeficiente de Presión Activa Estático K_a 0,405

Valor del coeficiente de Presión Activa Dinámico K_{as} 0,388

CAPACIDAD PORTANTE

N_c 22,25 σ_{ULT} [kPa] 1.309,53

N_q 11,85 $\sigma_{aplicado}$ [kPa] 345,31

N_γ 12,54 F.S. 3,79

Observación Cumple

Excentricidad [m] 0,04 Observación Cumple

ESTABILIDAD AL DESLIZAMIENTO

	Condición Estática	Observación	Condición Dinámica	Observación
Σ Fuerzas Resistentes [kN]	634,75		634,75	
Σ Fuerzas Actuantes [kN]	389,33		353,66	
Factor Seguridad Calculado	1,72	Cumple	1,79	Cumple

ESTABILIDAD AL VOLCAMIENTO

	Condición Estática	Observación	Condición Dinámica	Observación
Σ Momentos Resistentes [kN*m]	4.589,01		4.589,01	
Σ Momentos Actuantes [kN*m]	1.131,55		1.083,55	
Factor Seguridad Calculado	4,06	Cumple	4,24	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

- Estabilidad al deslizamiento donde se pudo verificar que las fuerzas horizontales externas no originan un desplazamiento al muro, $FS_D = 1,72 > 1,5$
- Estabilidad al volcamiento donde se debe revisar que el momento producido por las fuerzas horizontales actuantes comparadas con el momento generado por las fuerzas resistentes no vaya a ocasionar un volcamiento al muro, $FS_V = 4,06 > 2,0$
- Capacidad portante donde se revisa que el terreno sea lo suficientemente competente para soportar las cargas producidas para la construcción del muro, donde la profundidad de fundación debe tener un valor mínimo, $FS_{CP} = 3,79 > 3,0$

4.2.2. Consideración para el diseño del muro en forma manual

En este ejemplo de aplicación se consideró el diseño de un muro de suelo reforzado ya que el ángulo del talud es mayor a 70 grados tomando en cuenta los siguientes parámetros.

- Geometría del muro:

H = Altura del muro reforzado = 10,0 m

L = Longitud transversal del muro = 7,5 m

Sc = Cargas uniformes sobre el muro = 1,32 Tn/m²

B = Inclinación talud sobre la corona del muro = 10 grados

A = Inclinación de la cara del muro = 85,0 grados

Inclinación de la cara = Vertical

- El suelo a utilizarse como material de relleno en la zona reforzada para conformar el Muro, tiene las siguientes características y propiedades geomecánicas, valores tomados en ANEXO 1.

Arcilla limosa, CL-ML

ϕ_1 = Angulo de fricción interna = 24 grados

c_1 = Cohesión del suelo de relleno = 1,2 Tn/m²

γ_1 = Peso específico del suelo de relleno = 2,2 Tn/m³

- Propiedades del suelo de fundación, valores tomados en ANEXO 1.

Arcilla limosa, CL-ML

ϕ_2 = Angulo de fricción interna = 24 grados

c_2 = Cohesión del suelo de relleno = 1,2 Tn/m²

γ_2 = Peso específico del suelo de relleno = 2,2 Tn/m³

- Características del geotextil

T_{ult} = Resistencia ultima del geotextil = 70,0 KN/m y 114,0 KN/m

ϕ_{SG} = Ángulo de fricción entre el suelo y el geotextil, $(0.70 - 0.85) \times \phi_1 = 19,2$

FS = Factor de Seguridad (1,3 a 1,5) = 1,3

- **Análisis de estabilidad interna**

a) Determinar la resistencia a la tensión admisible del geotextil

$$T_{adm} = \text{Tension admisible del geotextil} = \frac{T_{ult}}{FR_T}$$

- b) Determinar la resistencia ultima del geotextil T_{ult} , que se obtiene de especificaciones técnicas del manual, donde se trabajó con dos tipos de resistencias ultimas del geotextil debido a que la altura del muro es mayor a 7 m. y se recomienda usar dos o más resistencias
- c) El establecimiento de los factores de reducciones total del geotextil FS_T , que se determina con la formula.

$$FR_T = FR_{ID} \times FR_{FL} \times FR_{DQB}$$

FR_{ID} = Factor de reducción por daños durante la instalación = 1,2

FR_{FL} = Factor de reducción por fluencia del material = 2,2

FR_{DQB} = Factor de reducción por degradación química/biológica = 1,0

$$FR_T = (1,2) \times (2,2) \times (1,0) = 2,64$$

d) Determinar la resistencia a la tensión admisible del geotextil.

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FR_T}$$

$$T_{adm} = \frac{70,0}{2,64} = 26,52 \frac{KN}{m} = 2,65 \frac{T}{m}$$

$$T_{adm} = \frac{114,0}{2,64} = 43,18 \frac{KN}{m} = 4,32 \frac{T}{m}$$

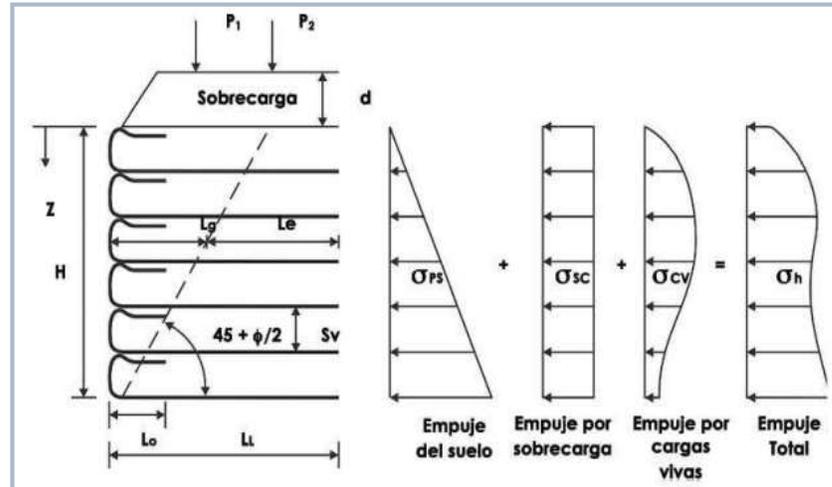
e) Determinación de las condiciones de carga del muro.

Para el cálculo de sobrecargas se tendrá en cuenta la carga generada en la corona del muro con una altura de profundidad del suelo de sobrecarga de 0,60 cm.

$$q = \gamma \times d = 2,2 \times 0,6 = 1,32 \frac{T}{m^2}$$

Se evaluará las presiones de tierra originadas por la presión del suelo, de las cargas, sobrecargas.

Figura 4.61. Conceptos de presión de suelos y teoría de muros con geotextil



Fuente: Manual Geosoft Pavco.

Donde:

H = Altura del muro

Z = Profundidad desde la superficie hasta la capa de estudio

L = Longitud transversal del muro

\emptyset = Ángulo de fricción del suelo de relleno en la zona reforzada

q = Sobrecargas en la superficie

γ = Peso específico del suelo

P_1, P_2 = Cargas concentradas

σ_{PS} = Presión debida al suelo

σ_{SC} = Presión debida a sobrecargas

σ_{CV} = Presión debida a las cargas vivas

- El establecimiento del coeficiente de presión activa.

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\emptyset_1}{2} \right)$$

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi_1}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{24}{2} \right) = 0,4$$

- La determinación de la presión lateral del suelo

$$\sigma_h = \sigma_{PS} + \sigma_{SC}$$

$$\sigma_{PS} = K_a \times \gamma \times Z = 0,4 \times 2,2 \times Z = 0,494 \frac{T}{m^2}$$

$$\sigma_{SC} = K_a \times q = 0,4 \times 1,32 = 0,593 \frac{T}{m^2}$$

$$q = \gamma \times d = 2,2 \times 0,6 = 1,32 \frac{T}{m^2}$$

$$\sigma_h = \sigma_{PS} + \sigma_{SC} = 0,494 + 0,593 = 1,087 \frac{T}{m^2}$$

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

- f) Determinar la separación vertical entre capas y las longitudes de desarrollo del geotextil para cada una de ellas.

- Dimensionamiento de la separación vertical entre capas de refuerzo.

$$S_v = \frac{T_{adm}}{(\sigma_h \times FS)}$$

$$S_v = \frac{2,65}{(1,087 \times 1,3)} = 1,87m$$

- Cálculo de las longitudes de desarrollo del refuerzo con geosintético.

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

Longitud geométrica hasta la zona de falla.

$$L_g = (H - Z) \times \tan \left(45 - \frac{\phi_1}{2} \right)$$

Longitud de empotramiento.

$$L_e = \frac{\sigma_h \times S_v \times FS}{2 \times (c + \sigma \times \tan \varphi)}$$

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.

Debido a que no solo se debe garantizar la estabilidad interna del muro sino también la estabilidad externa, longitud a usar en los refuerzos será al 75% y 80% de la altura del muro.

$$L_T = L_g + L_e + L_o + S_v$$

Tabla 4.17. Diseño del muro manual

Z (m)	Geosintético	Sv Diseño (m)	Sv Calculado (m)	Le Mínimo (m)	Lr (m)	L (m)	Lo (m)	L a Usar (m)	Lt (m)	Fs Sv
0,4	P-UX14	0,4	2,102	1,0	6,434	7,434	1,0	7,5	8,9	Cumple
0,9	P-UX14	0,5	1,401	1,0	6,099	7,099	1,0	7,5	9,0	Cumple
1,4	P-UX14	0,5	1,051	1,0	5,764	6,764	1,0	7,5	9,0	Cumple
1,9	P-UX14	0,5	0,841	1,0	5,429	6,429	1,0	7,5	9,0	Cumple
2,4	P-UX14	0,5	0,701	1,0	5,094	6,094	1,0	7,5	9,0	Cumple
2,9	P-UX14	0,5	0,600	1,0	4,759	5,759	1,0	7,5	9,0	Cumple
3,3	P-UX15	0,4	0,878	1,0	4,491	5,491	1,0	7,5	8,9	Cumple
3,7	P-UX15	0,4	0,796	1,0	4,223	5,223	1,0	7,5	8,9	Cumple
4,1	P-UX15	0,4	0,728	1,0	3,954	4,954	1,0	7,5	8,9	Cumple
4,5	P-UX15	0,4	0,671	1,0	3,686	4,686	1,0	7,5	8,9	Cumple
4,9	P-UX15	0,4	0,622	1,0	3,418	4,418	1,0	7,5	8,9	Cumple
5,3	P-UX15	0,4	0,580	1,0	3,15	4,15	1,0	7,5	8,9	Cumple
5,7	P-UX15	0,4	0,543	1,0	2,882	3,882	1,0	7,5	8,9	Cumple
6,1	P-UX15	0,4	0,511	1,0	2,614	3,614	1,0	7,5	8,9	Cumple
6,4	P-UX15	0,3	0,489	1,0	2,413	3,413	1,0	7,5	8,8	Cumple
6,7	P-UX15	0,3	0,469	1,0	2,212	3,212	1,0	7,5	8,8	Cumple
7,0	P-UX15	0,3	0,45	1,0	2,011	3,011	1,0	7,5	8,8	Cumple
7,3	P-UX15	0,3	0,433	1,0	1,81	2,81	1,0	7,5	8,8	Cumple
7,6	P-UX15	0,3	0,417	1,0	1,609	2,609	1,0	7,5	8,8	Cumple
7,9	P-UX15	0,3	0,403	1,0	1,408	2,408	1,0	7,5	8,8	Cumple

8,2	P-UX15	0,3	0,389	1,0	1,206	2,206	1,0	7,5	8,8	Cumple
8,5	P-UX15	0,3	0,376	1,0	1,005	2,005	1,0	7,5	8,8	Cumple
8,8	P-UX15	0,3	0,364	1,0	0,804	1,804	1,0	7,5	8,8	Cumple
9,1	P-UX15	0,3	0,353	1,0	0,603	1,603	1,0	7,5	8,8	Cumple
9,4	P-UX15	0,3	0,342	1,0	0,402	1,402	1,0	7,5	8,8	Cumple
9,7	P-UX15	0,3	0,332	1,0	0,201	1,201	1,0	7,5	8,8	Cumple
10,0	P-UX15	0,3	0,323	1,0	0,0	1,0	1,0	7,5	8,8	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis de estabilidad externa**

Para la verificación de la estabilidad externa del muro, se toman en cuenta los siguientes factores de seguridad:

Deslizamiento $FS \geq 1,5$

Volcamiento $FS \geq 2,0$

Capacidad portante $FS \geq 3,0$

Estabilidad al deslizamiento

Se debe verificar que las fuerzas horizontales externas no originen un desplazamiento del muro en la dirección horizontal.

$$FS_D = \frac{\sum \text{Fuerzas horizontales resistentes}}{\sum \text{Fuerzas horizontales actuantes}}$$

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

$$\tau = c + \sigma_v \times \tan \varphi$$

$$\tau = 1,2 + 23,3 \times \tan 24 = 12,3 \frac{T}{m^2}$$

$$\sigma_v = q + H \times \gamma$$

$$\sigma_v = 1,32 + 10,0 \times 2,2 = 23,3 \frac{T}{m^2}$$

$$Fza. Cortante = \tau \times L = 12,3 \times 7,5 = 92,2 \frac{T}{m}$$

Determinación de fuerzas horizontales actuantes

Relleno de confinamiento

$$P_a = \frac{1}{2} \times \gamma \times H^2 \times K_a = \frac{1}{2} \times 2,2 \times 10,0^2 \times 0,4 = 49,4 \frac{T}{m}$$

Sobrecarga

$$P_{SC} = q \times K_a \times H = 1,32 \times 0,4 \times 16,0 = 5,9 \frac{T}{m}$$

Factor de seguridad al deslizamiento

$$FS_D = \frac{92,2}{(49,4 + 5,9)} = 1,67 > 1,5$$

Estabilidad al volcamiento

Se debe revisar que el momento producido por las fuerzas horizontales actuantes comparadas con el momento generado por las fuerzas resistentes no vaya a ocasionar un volcamiento del muro. El análisis de estos momentos se hace tomando como referencia el extremo inferior izquierdo de la sección transversal del muro.

$$FS_v = \frac{\sum \text{Momentos resistentes}}{\sum \text{Momentos actuantes}}$$

Determinación de momentos resistentes

Momento generado por la sobrecarga

$$M_{SC} = q \times L \times \frac{L}{2} = 1,32 \times 7,5 \times \frac{7,5}{2} = 37,1 \frac{T \times m}{m}$$

Momento generado por el propio peso del muro

$$M_{PM} = H \times L \times \gamma \times \frac{L}{2} = 10,0 \times 7,5 \times 2,2 \times \frac{7,5}{2} = 618,8 \frac{T \times m}{m}$$

Determinación de los momentos actuantes

Momento generado por la presión lateral de tierras

$$M_{PT} = \frac{1}{3} \times H \times P_a = \frac{1}{3} \times 10,0 \times 49,4 = 164,6 \frac{T \times m}{m}$$

Momento generado por la sobrecarga

$$M_{SC} = \frac{1}{2} \times H \times P_{SC} = \frac{1}{2} \times 10,0 \times 5,9 = 29,6 \frac{T \times m}{m}$$

Factor de seguridad al volcamiento

$$FS_V = \frac{(37,1 + 618,8)}{(164,6 + 29,6)} = 3,7 > 2,0$$

Capacidad portante

Se revisa que la capacidad portante del terreno sea competente para soportar las cargas producidas por la construcción del muro.

La profundidad de la fundación debe tener un valor mínimo, con el fin de garantizar una estabilidad general de la estructura y la reducción de asentamientos debido a la carga del muro.

Se realiza el cálculo de la capacidad portante del muro:

$$\sigma_{ult} = c \times N_c + q \times N_q + \frac{1}{2} \times \gamma \times B \times N_y$$

Donde N_c , N_q , N_y son los factores de carga planteados por Visec para la ecuación general de capacidad portante.

Para un $\theta_1 = 24^\circ$ los factores de capacidad de carga se encuentran en el ANEXO 3

$$N_c = 19,32$$

$$N_q = 9,6$$

$$N_y = 9,44$$

$$\sigma_{ult} = 1,2 \times 19,32 + 1,5 \times 2,2 \times 9,6 + \frac{1}{2} \times 2,2 \times 7,5 \times 9,44 = 132,7 \frac{T}{m^2}$$

Para determinar el esfuerzo aplicado real al suelo se emplea la ecuación general para determinar el esfuerzo a una distancia “y” del centroide, y de donde se determina el esfuerzo máximo y el esfuerzo mínimo para efectuar la capacidad portante.

$$\sigma_y = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{M_{\text{neto}} \times Y}{I}$$

Donde:

σ_y = Esfuerzo aplicado a una distancia “y” del centroide del muro

$\sum V$ = Sumatoria de fuerzas verticales

$\sum M$ = Sumatoria de momentos resistentes y actuantes

A = Área de la sección transversal del muro

Y = Distancia al centroide

I = Momento de inercia por unidad de longitud de la sección

$$I = \frac{1}{12} \times L \times B^3$$

Se debe verificar la excentricidad de la carga:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M}{\sum V} = \frac{12.8}{2} - \frac{(37,1 + 618,8) - (164,6 + 29,6)}{174,9} = 1,1 \text{ m}$$

Se deberá verificar que $e < B/6$. Si no se cumple entonces se recomienda ampliar la base del muro y luego de determinar la excentricidad se determina los esfuerzos máximos y mínimos.

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{\sum V}{A} + \frac{M_{\text{neto}} \times Y}{I}$$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{\sum V}{(B \times 1)} + \frac{\left(e \times \sum v \times \frac{B}{2} \right)}{\left(\frac{1}{12} \times 1 \times B^3 \right)}$$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{\sum V}{B} \times \left(1 + \frac{6 \times e}{B} \right) = \frac{174,9}{7,5} \times \left(1 + \frac{6 \times 1,1}{7,5} \right) = 44,0 \frac{\text{T}}{\text{m}^2}$$

De la misma manera el esfuerzo mínimo:

$$\sigma_{\min} = \frac{\sum V}{A} - \frac{M_{\text{neto}} \times Y}{I}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{\sum V}{B} \times \left(1 - \frac{6 \times e}{B}\right) = \frac{174,9}{7,5} \times \left(1 - \frac{6 \times 1.1}{7,5}\right) = 2,6 \frac{T}{m^2}$$

Para determinar el factor de seguridad se emplea el esfuerzo máximo como esfuerzo actuante o aplicado que se compara con el esfuerzo resistente hallado antes.

$$\sigma_{\text{aplicado}} = 44,0 \frac{T}{m^2}$$

$$FS_{CP} = \frac{132,7}{44,0} = 3,01 > 3,0$$

4.3. Presupuesto General

4.3.1. Cálculo de presupuesto

En este cuadro se presenta el presupuesto general, el detalle de los cálculos métricos y precios unitarios.

Presupuesto general					
Proyecto: Muro de suelo reforzado con geomalla				Lugar: Talud 1	
Cliente: Jairo Alejandro Irahola					
N°	Descripción	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Costo Total
>	M01 - Movimiento de tierras				30747,12
1	Replanteo y trazado	m	16,00	3,87	61,92
2	Excavación con maquinaria	m ³	780,00	39,34	30685,20
>	M02 - Muro de suelo reforzado con geomalla				486601,36
3	Prov. y col. de la geomalla	m ²	3832,00	104,23	399409,36
4	Relleno y compactado de tierra	m ³	1200,00	72,66	87192,00
>	M03 - Limpieza general de la obra				11,29
5	Limpieza general	glb	1,00	11,29	11,29
	Total presupuesto				517359,77

Son: Quinientos Diecisiete Mil Trescientos Cincuenta y Nueve con 77/100 Bolivianos

Presupuesto general					
Proyecto: Muro de suelo reforzado con geotextil				Lugar: Talud 2	
Cliente: Jairo Alejandro Irahola					
N°	Descripción	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio	Costo
				Unitario	Total
>	M01 - Movimiento de tierras				10129,41
1	Replanteo y trazado	m	10,00	3,87	38,70
2	Excavación con maquinaria	m ³	256,50	39,34	10090,71
>	M02 - Muro de suelo reforzado con geotextil				97794,90
3	Prov. y col. del geotextil	m ²	1554,00	41,61	64661,94
4	Relleno y compactado de tierra	m ³	456,00	72,66	33132,96
>	M03 - Limpieza general de la obra				11,29
5	Limpieza general	glb	1,00	11,29	11,29
	Total presupuesto				107935,60

Son: Ciento Siete Mil Novecientos Treinta y Cinco con 60/100 Bolivianos

Presupuesto general					
Proyecto: Muro de suelo reforzado con geotextil				Lugar: Talud 3	
Cliente: Jairo Alejandro Irahola					
N°	Descripción	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio	Costo
				Unitario	Total
>	M01 - Movimiento de tierras				5869,02
1	Replanteo y trazado	m	8,00	3,87	30,96
2	Excavación con maquinaria	m ³	148,40	39,34	5838,06
>	M02 - Muro de suelo reforzado con geotextil				64415,40
3	Prov. y col. del geotextil	m ²	904,80	53,71	48596,81
4	Relleno y compactado de tierra	m ³	254,40	62,18	15818,59
>	M03 - Limpieza general de la obra				11,29
5	Limpieza general	glb	1,00	11,29	11,29
	Total presupuesto				70295,71

Son: Setenta Mil Doscientos Noventa y Cinco con 71/100 Bolivianos

Presupuesto general					
Proyecto: Muro de suelo reforzado con geomalla				Lugar: Talud 4	
Cliente: Jairo Alejandro Irahola					
N°	Descripción	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio	Costo
				Unitario	Total
>	M01 - Movimiento de tierras				3498,81
1	Replanteo y trazado	m	7,50	3,87	29,03
2	Excavación con maquinaria	m ³	88,20	39,34	3469,79
>	M02 - Muro de suelo reforzado con geotextil				28541,21
3	Prov. y col. de la geomalla	m ²	583,50	32,13	18747,86
4	Relleno y compactado de tierra	m ³	157,50	62,18	9793,35
>	M03 - Limpieza general de la obra				11,29
5	Limpieza general	glb	1,00	11,29	11,29
	Total presupuesto				32051,31

Son: Treinta Dos Mil Cincuenta y Uno con 31/100 Bolivianos

Presupuesto general					
Proyecto: Muro de suelo reforzado con geotextil				Lugar: Talud 5	
Cliente: Jairo Alejandro Irahola					
N°	Descripción	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio	Costo
				Unitario	Total
>	M01 - Movimiento de tierras				11207,26
1	Replanteo y trazado	m	11,00	3,87	42,57
2	Excavación con maquinaria	m ³	283,80	39,34	11164,69
>	M02 - Muro de suelo reforzado con geotextil				124078,68
3	Prov. y col. del geotextil	m ²	1782,00	48,10	85714,20
4	Relleno y compactado de tierra	m ³	528,00	72,66	38364,48
>	M03 - Limpieza general de la obra				11,29
5	Limpieza general	glb	1,00	11,29	11,29
	Total presupuesto				135297,23

Son: Ciento Treinta y Cinto Mil Doscientos Noventa y Siete con 23/100 Bolivianos

Presupuesto general					
Proyecto: Muro de suelo reforzado con geotextil				Lugar: Talud 6	
Cliente: Jairo Alejandro Irahola					
N°	Descripción	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio	Costo
				Unitario	Total
>	M01 - Movimiento de tierras				7540,90
1	Replanteo y trazado	m	9,00	3,87	34,83
2	Excavación con maquinaria	m ³	190,80	39,34	7506,07
>	M02 - Muro de suelo reforzado con geotextil				72467,33
3	Prov. y col. del geotextil	m ²	1017,90	53,71	54671,41
4	Relleno y compactado de tierra	m ³	286,20	62,18	17795,92
>	M03 - Limpieza general de la obra				11,29
5	Limpieza general	glb	1,00	11,29	11,29
	Total presupuesto				80019,52

Son: Ochenta Mil Diecinueve con 52/100 Bolivianos

Presupuesto general					
Proyecto: Muro de suelo reforzado con geotextil				Lugar: Talud 7	
Cliente: Jairo Alejandro Irahola					
N°	Descripción	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio	Costo
				Unitario	Total
>	M01 - Movimiento de tierras				4254,50
1	Replanteo y trazado	m	8,00	3,87	30,96
2	Excavación con maquinaria	m ³	107,36	39,34	4223,54
>	M02 - Muro de suelo reforzado con geotextil				39608,05
3	Prov. y col. del geotextil	m ²	735,20	37,50	27570,00
4	Relleno y compactado de tierra	m ³	193,60	62,18	12038,05
>	M03 - Limpieza general de la obra				11,29
5	Limpieza general	glb	1,00	11,29	11,29
	Total presupuesto				43873,84

Son: Cuarenta y Tres Mil Ochocientos Setenta y Tres con 84/100 Bolivianos

Presupuesto general					
Proyecto: Muro de suelo reforzado con geomalla				Lugar: Talud 8	
Cliente: Jairo Alejandro Irahola					
N°	Descripción	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio	Costo
				Unitario	Total
>	M01 - Movimiento de tierras				3807,60
1	Replanteo y trazado	m	8,00	3,87	30,96
2	Excavación con maquinaria	m ³	96,00	39,34	3776,64
>	M02 - Muro de suelo reforzado con geotextil				29226,80
3	Prov. y col. de la geomalla	m ²	600,00	32,13	19278,00
4	Relleno y compactado de tierra	m ³	160,00	62,18	9948,80
>	M03 - Limpieza general de la obra				11,29
5	Limpieza general	glb	1,00	11,29	11,29
	Total presupuesto				33045,69

Son: Treinta y Tres Mil Cuarenta y Cinco con 69/100 Bolivianos

Presupuesto general					
Proyecto: Muro de suelo reforzado con geotextil				Lugar: Talud 9	
Cliente: Jairo Alejandro Irahola					
N°	Descripción	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio	Costo
				Unitario	Total
>	M01 - Movimiento de tierras				3496,88
1	Replanteo y trazado	m	7,00	3,87	27,09
2	Excavación con maquinaria	m ³	88,20	39,34	3469,79
>	M02 - Muro de suelo reforzado con geotextil				31801,27
3	Prov. y col. del geotextil	m ²	544,60	41,61	22660,81
4	Relleno y compactado de tierra	m ³	147,00	62,18	9140,46
>	M03 - Limpieza general de la obra				11,29
5	Limpieza general	glb	1,00	11,29	11,29
	Total presupuesto				35309,43

Son: Treinta y Cinco Mil Trecientos y Nueve con 43/100 Bolivianos

Presupuesto general					
Proyecto: Muro de suelo reforzado con geomalla				Lugar: Talud 10	
Cliente: Jairo Alejandro Irahola					
N°	Descripción	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Costo Total
>	M01 - Movimiento de tierras				16097,16
1	Replanteo y trazado	m	12,00	3,87	46,44
2	Excavación con maquinaria	m ³	408,00	39,34	16050,72
>	M02 - Muro de suelo reforzado con geotextil				261184,39
3	Prov. y col. de la geomalla	m ²	2354,40	88,27	207822,89
4	Relleno y compactado de tierra	m ³	734,40	72,66	53361,50
>	M03 - Limpieza general de la obra				11,29
5	Limpieza general	glb	1,00	11,29	11,29
	Total presupuesto			Bs.	277292,84

Son: Doscientos Setenta y siete Mil Doscientos Noventa y Dos con 84/100 Bolivianos

4.4. Análisis de resultados

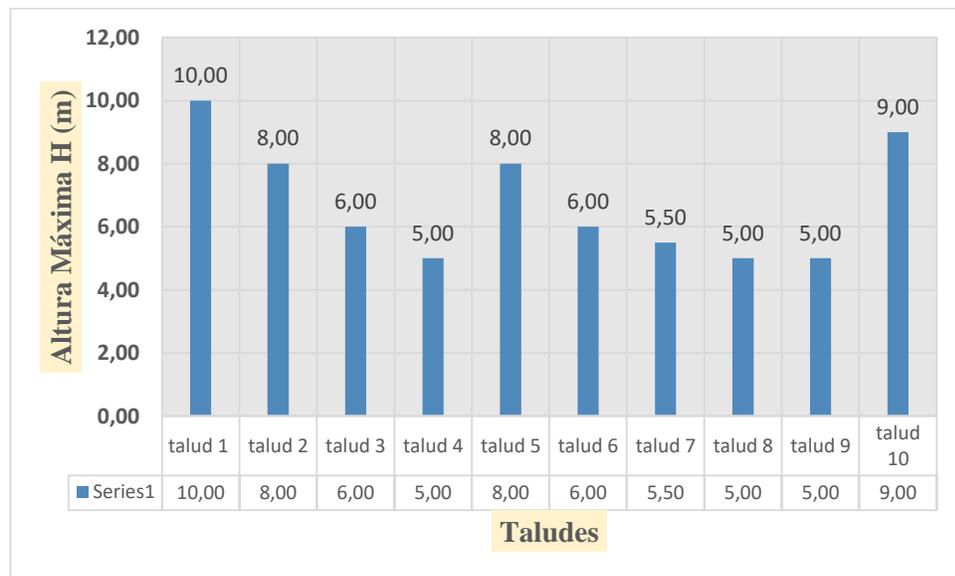
El análisis de resultados se hará por tres secciones donde se hará el análisis de la geometría de los taludes, así como el análisis de la caracterización mecánica del suelo y los resultados obtenidos del software Geosoft Pavco del diseño del muro.

4.4.1. Análisis comparativo de la geometría de los taludes

El análisis comparativo de los taludes estudiados

- En la geometría de los taludes se puede observar que el talud 1 (subida al gallinazo) es el que tiene mayor altura dando así mayor cantidad de geotextil de refuerzo, también se puede observar que el talud de menor altura son talud 4, talud 8 y talud 9.

Figura 4.62. Diferentes alturas de los taludes

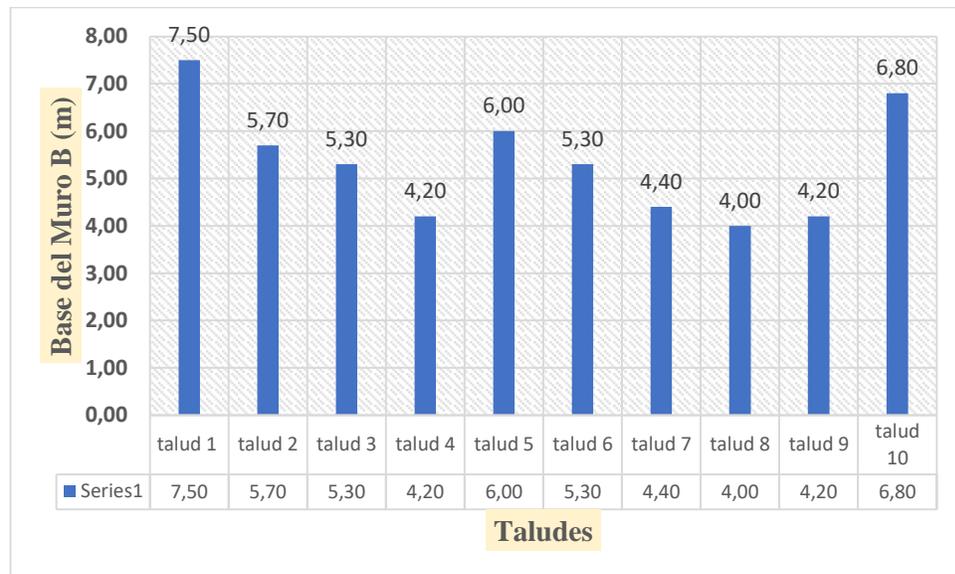


Fuente: Elaboración propia.

- La base del muro como se observa en la figura va variando de acuerdo a las alturas máximas de los taludes a mayor altura del talud tendrá mayor base ya que para el diseño se obtuvo las bases como se muestra la gráfica dando así la mayor base al talud 1 (subida al gallinazo).

- También se analizó mediante el software Geosoft las bases constructivas adecuadas y así teniendo en cuenta la estabilidad interna que tiene el talud.
- Otro parámetro muy importante es la inclinación a la cara del muro por factor de construcción se tomó 85° a todos los taludes.

Figura 4.63. Diferentes bases de los taludes



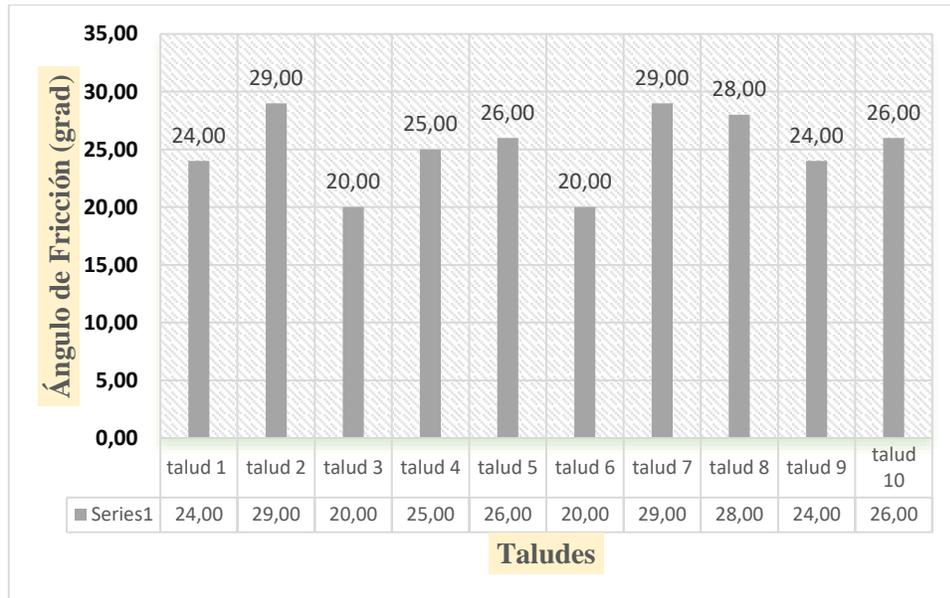
Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Análisis comparativo de las características mecánicas de los suelos

Propiedades geomecánicas del suelo del relleno

- Como se observa en la figura el ángulo de fricción interna para los diferentes taludes donde los taludes 2, 7 y 8 que son talud 2 (Barrio Bartolomé), talud 7 (Barrio San Antonio) y el talud 8 (la loma) donde estos suelos son arcilla inorgánica de baja plasticidad tiene mayor ángulo de fricción a comparación de los demás taludes, ya que para el diseño al introducir al software Geosoft se obtuvo el menor valor de los extractos que se analizó. El procedimiento se verá en anexo 1 clasificación de los materiales.

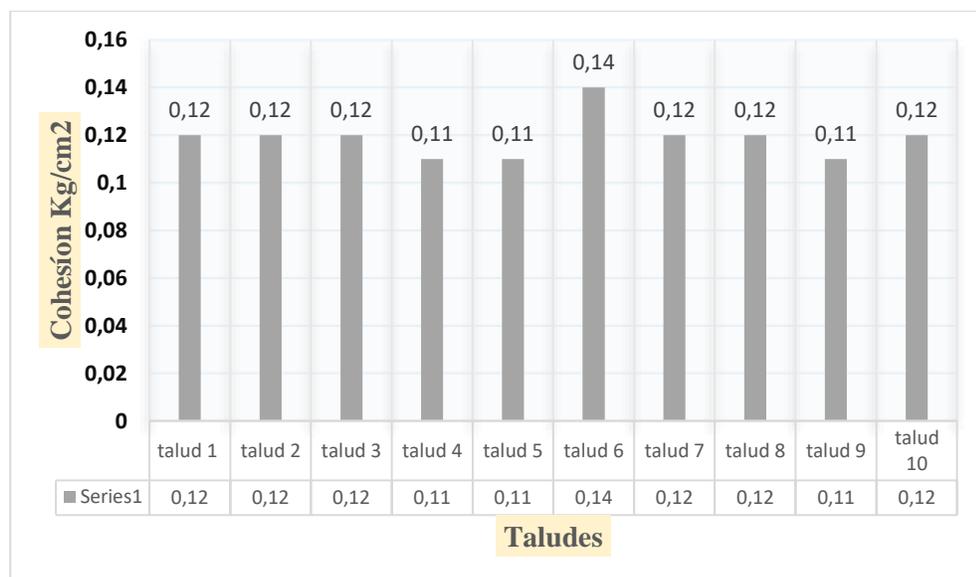
Figura 4.64. Diferentes ángulos de fricción de los taludes



Fuente: Elaboración propia.

La cohesión de los diferentes taludes se observa en la figura donde el talud 6 (Barrio San Antonio) tiene una cohesión mayor ya que mencionado en el anterior punto para el diseño del muro al introducir al software se escogió el menor valor.

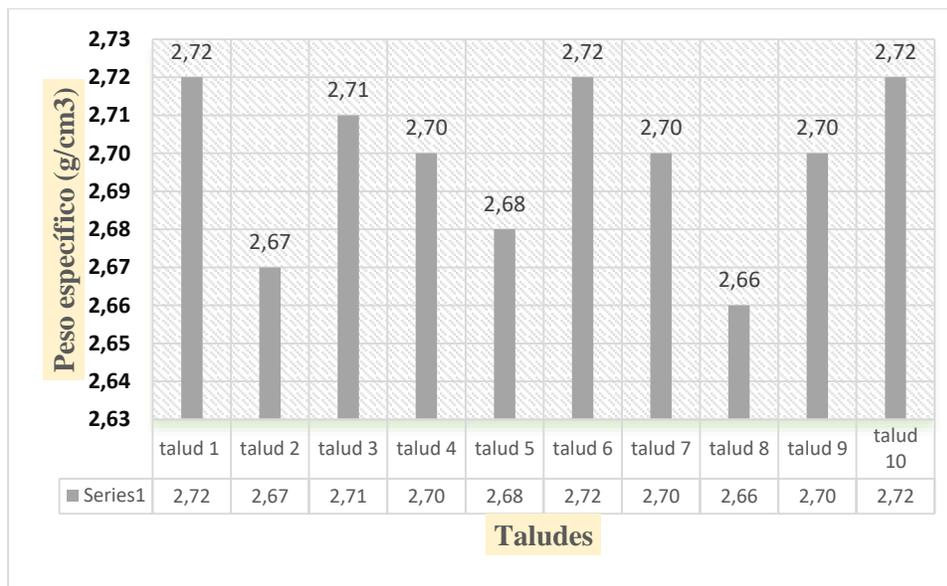
Figura 4.65. Diferentes cohesiones de los taludes



Fuente: Elaboración propia.

- Los pesos específicos de los diferentes taludes donde se realizó en el pie, medio y cabeza del talud y se obtuvo el promedio. Vale recalcar que el software tiene sus rangos para introducir el peso específico donde los valores de los diferentes taludes superan al límite, en ese caso se optó por tomar el valor mayor rango del software que es 2.2 Tn/m^3 para todos los taludes.

Figura 4.66. Diferentes pesos específicos de los taludes



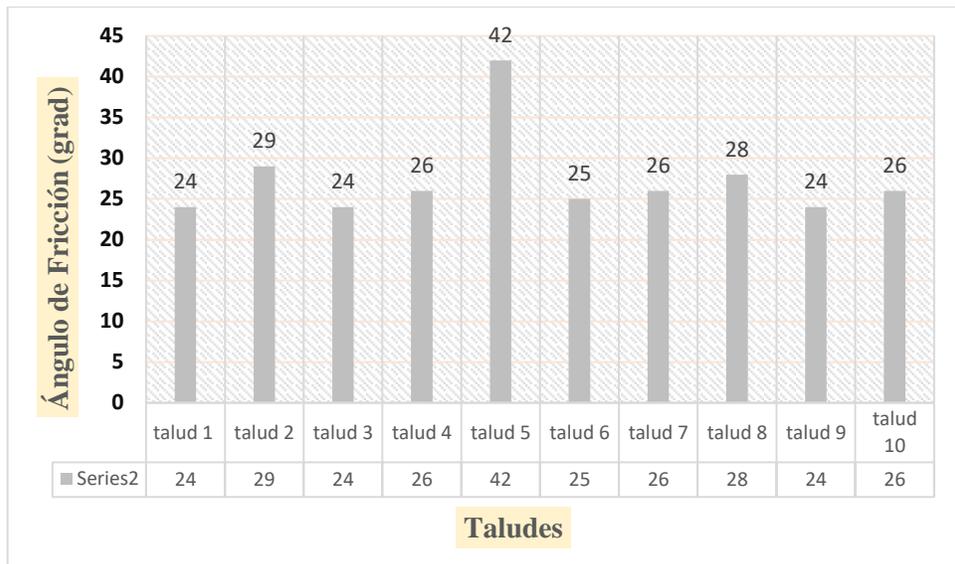
Fuente: Elaboración propia.

Estabilidad Externa

Datos del suelo de fundación

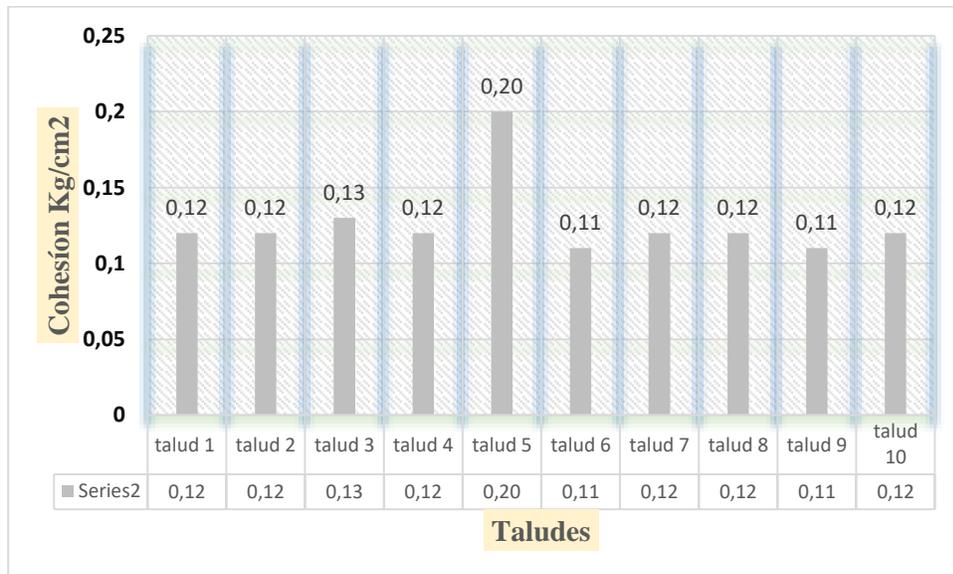
- Donde el ángulo de fricción para introducir al software para el suelo de fundación se escogió todos los datos del pie del talud de cada uno de los taludes y así también como la cohesión.
- Así también el procedimiento se verá en anexo 1

Figura 4.67. Diferentes ángulos de fricción de los taludes



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.68. Diferentes cohesiones de los taludes



Fuente: Elaboración propia.

4.4.3. Análisis de resultados obtenidos por el software Geosoft Pavco

Talud 1.- Gallinazo subida a San Jacinto

- Para el análisis de este talud se utilizó dos tipos de geomallas uniaxiales con diferentes resistencias que presenta el software Geosoft, el P-UX1400 con resistencia última de (70,0 KN/m) y P-UX1500 (114,0 KN/m) y cumpliendo con las separaciones verticales adecuados y con una cantidad de geomalla de 53,9 m² para P-UX1400 y con una cantidad de 185,6 m² de P-UX1500.
- Para la estabilidad externa donde se puede observar que cumple con el deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante de acuerdo a los factores de seguridad, así también se observó que para la fundación se obtuvo una profundidad de 1,5 metros. Dando así mayor seguridad a posible volcamiento.

Talud 2.- Barrio Bartolomé Attard

- Para el análisis de este talud se utilizó dos tipos de geotextiles tejidos con diferentes resistencias que presenta el software Geosoft, el T2400 con resistencia última de (40,0 KN/m) y el TR4000 (67,0 KN/m) y cumpliendo con las separaciones verticales adecuados y con una cantidad de geotextil de 35,7 m² para T2400 y con una cantidad de 119,7 m² de TR4000.
- Para la estabilidad externa donde se puede observar que cumple con el deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante de acuerdo a los factores de seguridad, así también se observó que para la fundación se obtuvo una profundidad de 0,5 metros. Dando así mayor seguridad a posible volcamiento.

Talud 3.- Barrio Aranjuez (1)

- Para el análisis de este talud se utilizó dos tipos de geotextiles tejidos con diferentes resistencias que presenta el software Geosoft, el TR3000 con resistencia última de (52 KN/m) y el TR5000 (80 KN/m) y cumpliendo con las separaciones verticales adecuados y con una cantidad de geotextil de 46,9 m² para TR3000 y con una cantidad de 66,2 m² de TR5000.
- Para la estabilidad externa donde se puede observar que cumple con el deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante de acuerdo a los factores de

seguridad, así también se observó que para la fundación se obtuvo una profundidad de 0,5 metros. Dando así mayor seguridad a posible volcamiento.

Talud 4.- Barrio Aranjuez (2)

- Para el análisis de este talud se utilizó una geomalla uniaxial coextruída con resistencia que presenta el software Geosoft, el P-UX1100 con resistencia ultima de (58 KN/m) y cumpliendo con las separaciones verticales adecuados y con una cantidad de geomalla de 77,8 m² para P-UX1100
- Para la estabilidad externa donde se puede observar que cumple con el deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante de acuerdo a los factores de seguridad, así también se observó que para la fundación se obtuvo una profundidad de 0,30 metros. Dando así mayor seguridad a posible volcamiento.

Talud 5.- Barrio Aranjuez (3)

- Para el análisis de este talud se utilizó dos tipos de geotextiles tejidos con diferentes resistencias que presenta el software Geosoft, el T2400 con resistencia ultima de (40,0 KN/m) y el TR5000 (80,0 KN/m) y cumpliendo con las separaciones verticales adecuados y con una cantidad de geotextil de 37,2 m² para T2400 y con una cantidad de 124,8 m² de TR5000.
- Para la estabilidad externa donde se puede observar que cumple con el deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante de acuerdo a los factores de seguridad, así también se observó que para la fundación se obtuvo una profundidad de 0,30 metros. Dando así mayor seguridad a posible volcamiento.

Talud 6.- Barrio San Antonio (1)

- Para el análisis de este talud se utilizó tres tipos de geotextiles tejidos con diferentes resistencias que presenta el software Geosoft, el TR3000 con resistencia ultima de (52,0 KN/m), TR5000 (80,0 KN/m), cumpliendo con las separaciones verticales adecuados y con una cantidad de geotextil de 46,9 m² para TR3000 y con una cantidad de 66,2 m² de TR5000.

- Para la estabilidad externa donde se puede observar que cumple con el deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante de acuerdo a los factores de seguridad, así también se observó que para la fundación se obtuvo una profundidad de 1,0 metro. Dando así mayor seguridad a posible volcamiento.

Talud 7.- Barrio San Antonio (2)

- Para el análisis de este talud se utilizó tres tipos de geotextiles tejidos con diferentes resistencias que presenta el software Geosoft, el T2400 con resistencia ultima de (40,0 KN/m), TR3000 (52,0 KN/m), cumpliendo con las separaciones verticales adecuados y con una cantidad de geotextil de 40,5 m² para T2400 y con una cantidad de 51,4 m² de TR3000.
- Para la estabilidad externa donde se puede observar que cumple con el deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante de acuerdo a los factores de seguridad, así también se observó que para la fundación se obtuvo una profundidad de 0,30 metros. Dando así mayor seguridad a posible volcamiento.

Talud 8.- Barrio La Loma

- Para el análisis de este talud se utilizó geomalla uniaxial coextruída con resistencia que presenta el software Geosoft, el P-UX1100 con resistencia ultima de (58,0 KN/m), cumpliendo con las separaciones verticales adecuados y con una cantidad de geomalla de 75,0 m².
- Para la estabilidad externa donde se puede observar que cumple con el deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante de acuerdo a los factores de seguridad, así también se observó que para la fundación se obtuvo una profundidad de 0,5 metros. Dando así mayor seguridad a posible volcamiento.

Talud 9.- Barrio Mira Flores

- Para el análisis de este talud se utilizó dos tipos de geotextiles tejidos con diferentes resistencias que presenta el software Geosoft, el T2400 con resistencia ultima de (40,0 KN/m) y el TR4000 (67,0 KN/m) y cumpliendo con las

separaciones verticales adecuados y con una cantidad de geotextil de 28,1 m² para T2400 y con una cantidad de 49,7 m² de TR4000.

- Para la estabilidad externa donde se puede observar que cumple con el deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante de acuerdo a los factores de seguridad, así también se observó que para la fundación se obtuvo una profundidad de 0,5 metro. Dando así mayor seguridad a posible volcamiento.

Talud 10.- Av. Integración

- Para el análisis de este talud se utilizó dos tipos de geomallas uniaxiales con diferentes resistencias que presenta el software Geosoft, el P-UX1100 con resistencia última de (58,0 KN/m) y P-UX1500 (114,0 KN/m) y cumpliendo con las separaciones verticales adecuados y con una cantidad de geomalla de 41,5 m² para P-UX1100 y con una cantidad de 154,7 m² de P-UX1500.
- Para la estabilidad externa donde se puede observar que cumple con el deslizamiento, volcamiento y la capacidad portante de acuerdo a los factores de seguridad, así también se observó que para la fundación se obtuvo una profundidad de 0,5 metros. Dando así mayor seguridad a posible volcamiento.

CAPÍTULO V

“CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”

5.1. Conclusiones

Luego de realizar la aplicación práctica de muro

- Primeramente, se cumplió con el objetivo general de realizar la aplicación del software Geosoft Pavco de muros de taludes mecánicamente estabilizados con geosintéticos.
- En los taludes que se han estudiado en este proyecto no se presentó fallas ya que al conformar un muro estable de apoyo en taludes como material de refuerzo los geosintéticos se pudo verificar que no existen problemas al deslizamiento, volcamiento y capacidad portante.
- Se definió los materiales de relleno que se utilizó en diferentes capas de terraplenes de muros usando los materiales de la misma zona.
- Para el diseño del muro con el software es muy importante saber los parámetros de resistencia del suelo como la cohesión y el ángulo de fricción interna estos parámetros son importantes en la aplicación de equilibrio de fuerzas y la caracterización de los materiales como ser su clasificación, saber el tipo de suelo a confinar en el relleno y sus respectivos pesos específicos de cada talud.
- Se detalló el procedimiento de estabilización de taludes con la utilización de los geosintéticos
- En la aplicación se obtuvo valores de peso específico fuera del rango que se introduce al software en este caso se optó por los valores de rango superior al que está en el software que es 2.2 Tn/m^3 ya que los pesos específicos sobre pasaron este límite. En este caso en particular los suelos que son de mayores pesos específicos el software los toma a estos suelos con el valor límite $2,2 \text{ Tn/m}^3$
- Los datos de caracterización del suelo realizado en el laboratorio de la Universidad Juan Misael Saracho donde fueron los parámetros de entrada al dimensionamiento del muro que se realizó en el talud en el pie, medio y cabeza. Y así también los parámetros de resistencia como el ángulo de fricción y la cohesión, primeramente,

para suelo de relleno se tomó los valores más desfavorables o de menos resistencia y para el suelo de fundación se tomó los valores del pie de cada talud estudiado, Así también los datos geométricos de cada talud.

- En el proceso constructivo se trabajó adecuadamente favorable los resultados cumpliendo con los factores de seguridad adecuados. Donde se utilizó más en el diseño de los diferentes taludes el geosintético tejido y geomallas uniaxiales ya que tiene alta resistencia de refuerzo.
- La utilización de los geosintéticos en el país es muy limitada ya que no lo realizan frecuentemente quizás si para otras aplicaciones, pero para conformar un muro de talud para posibles deslizamientos casi es nula.
- Se determinó el presupuesto general adecuadamente a los 10 taludes.
- Es muy importante esta aplicación ya que presenta muchos beneficios y soluciones a dichos deslizamientos y que tiene una solución viable y sobretodo económico.

5.2. Recomendaciones

A continuación, se detallan algunas recomendaciones:

- Seguir la guía que se propone.
- Se recomienda que antes de realizar el diseño de refuerzo para muros de suelo mecánicamente estabilizado se debe verificar todos los valores introducidos al software los parámetros de entrada como los parámetros de resistencia deben ser adecuados y coherentes así también como la caracterización del suelo y su peso específico.
- Se recomienda para la toma de muestras de la masa de un talud que las muestras no sufran alteraciones en sus propiedades.
- Es recomendable utilizar criterios básicos para el dimensionamiento del muro tanto como la base del muro de acuerdo a la altura que pueda tener cada talud y para la fundación cuanto de profundidad para el emplazamiento del muro.