

1. CAPITULO I - INTRODUCCION

ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL BARRIO LUIS PIZARRO DE LA CIUDAD DE TARIJA

“Aplicado en el Talud de Acceso Vial próximo a la Plazuela Luis Pizarro”

1.1. Antecedentes

Se considera Talud a cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal permanente. Son apoyados sobre la base de laderas de pendiente muy alta. Estos taludes son conformados por bloques de roca depositados por gravedad, especialmente por caídos de roca y/o suelo.

El objetivo principal de un estudio de estabilidad de taludes o laderas es el de establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo.

La estabilización de deslizamientos activos o potencialmente inestables es un trabajo relativamente complejo, el cual requiere de metodologías de diseño y construcción.

Para determinar la estabilidad de una masa de suelo se debe determinar su coeficiente de seguridad al deslizamiento. Al existir un coeficiente de seguridad igual a 1, se produce el deslizamiento del talud.

Debemos comparar la colaboración de esfuerzos que tienden a producir el deslizamiento (esfuerzos motores) con aquellos que tienden a evitarlo (esfuerzos resistentes) se debe definir la superficie de falla.

Este trabajo considera el ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES en el Talud de Acceso Vial próximo a la Plazuela Luis Pizarro, que sirva de base para proponer mejoras constructivas en este acceso y de esta manera disminuir la amenaza de riesgo de deslizamiento.

En este trabajo tomaremos en cuenta dos métodos de diseño que son el método de JAMBU Y BISHOP, por ser los más aconsejables debido a los valores y variables que se toman en cuenta, y de esta manera ser un trabajo guía para la realización de estabilidad de taludes en la ciudad de Tarija tomando en cuenta los aspectos técnicos y sociales.

1.2. Justificación

Los riesgos geológicos son considerados como las peores catástrofes ocurridas en los últimos tiempos, originando pérdidas humanas y materiales, dichos riesgos son producto de fallas geológicas y deslizamiento de materiales, producto de excavaciones, condiciones hidrogeológicas como lluvias, presencia de aguas subterráneas, aumento del peso en el terreno, procesos de meteorización, relleno de fisuras y grietas y cambios en la composición mineralógica, modificando las propiedades naturales del terreno, los cuales causan movimientos de masas de suelos que se manifiestan con derrumbes y deslizamientos de los taludes.

Debido a los deslizamientos y derrumbes producidos por las precipitaciones que se presentan, se producen amenazas y riesgos en la circulación de accesos viales, con el temor de que se derrumben y provoquen daños indeseados, por lo tanto, se ve la necesidad de realizar un estudio de estabilidad de taludes, para que de esta manera se realicen planes o proyectos de construcción de obras, con el fin de prevenir estos derrumbes que ocasionan daños materiales y pérdida de vidas humanas.

Este estudio pretende ser un instrumento que permita respaldar las obras de construcción en la margen derecha de la plazuela Luis Pizarro, a fin de mitigar, prevenir y/o controlar los deslizamientos de taludes en cada uno de los accesos viales, mediante la aplicación de técnicas para estabilizar los taludes de acuerdo al grado de riesgo que presente el deslizamiento.

1.3.Situación Problemática

Por falta de un Plan Integral de ESTUDIO DE ESTABILIZACION DE TALUDES, las obras y viviendas construidas alrededor de taludes o laderas, son afectadas por las lluvias que causan problemas de deslizamiento en muchas zonas y barrios de la ciudad de Tarija.

En este caso en particular, en la ciudad de Tarija, en el Barrio Luis Pizarro; existe una ladera que rodea a la plazuela principal y las graderías de acceso vial a este, y a causa de las lluvias se producen deslizamientos y derrumbes de la ladera.

Esto trae como consecuencia:

- Los transeúntes deben bajar con mucho cuidado, corriendo el riesgo de que se derrumbe la ladera o tropezar con el deslizamiento provocado y sufrir accidentes que en algunos casos pueden llegar a ser fatales.
- Amenaza y riesgo de pérdidas de daños económicos, de viviendas, obras (graderías y plazuela), y hasta vidas humanas.
- No poder transitar libremente por el acceso de entrada principal a la plazuela y en la plazuela misma.

1.3.1. Problema

Existencia de amenazas y riesgos de deslizamientos al momento de circular por el acceso vial y por falta de un Estudio de Estabilidad de Taludes, estos provoquen accidentes humanos y económicos inesperadas.

1.3.2. Objeto de Estudio

Talud en el acceso vial próximo a la plazuela Luis Pizarro de la ciudad de Tarija.

1.3.3. Campo de Acción

Estudio de Estabilidad de Taludes en el acceso vial próximo a la plazuela Luis Pizarro de la ciudad de Tarija.

1.4.Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Realizar un ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES en el Talud de acceso vial próximo a la plazuela Luis Pizarro, basado en métodos de cálculo computacional, por los métodos de JANBU Y BISHOP con el fin de proponer mejoras constructivas y prevenir la inestabilidad del talud preservando así la seguridad solicitada.

1.4.2. Objetivos Específicos.

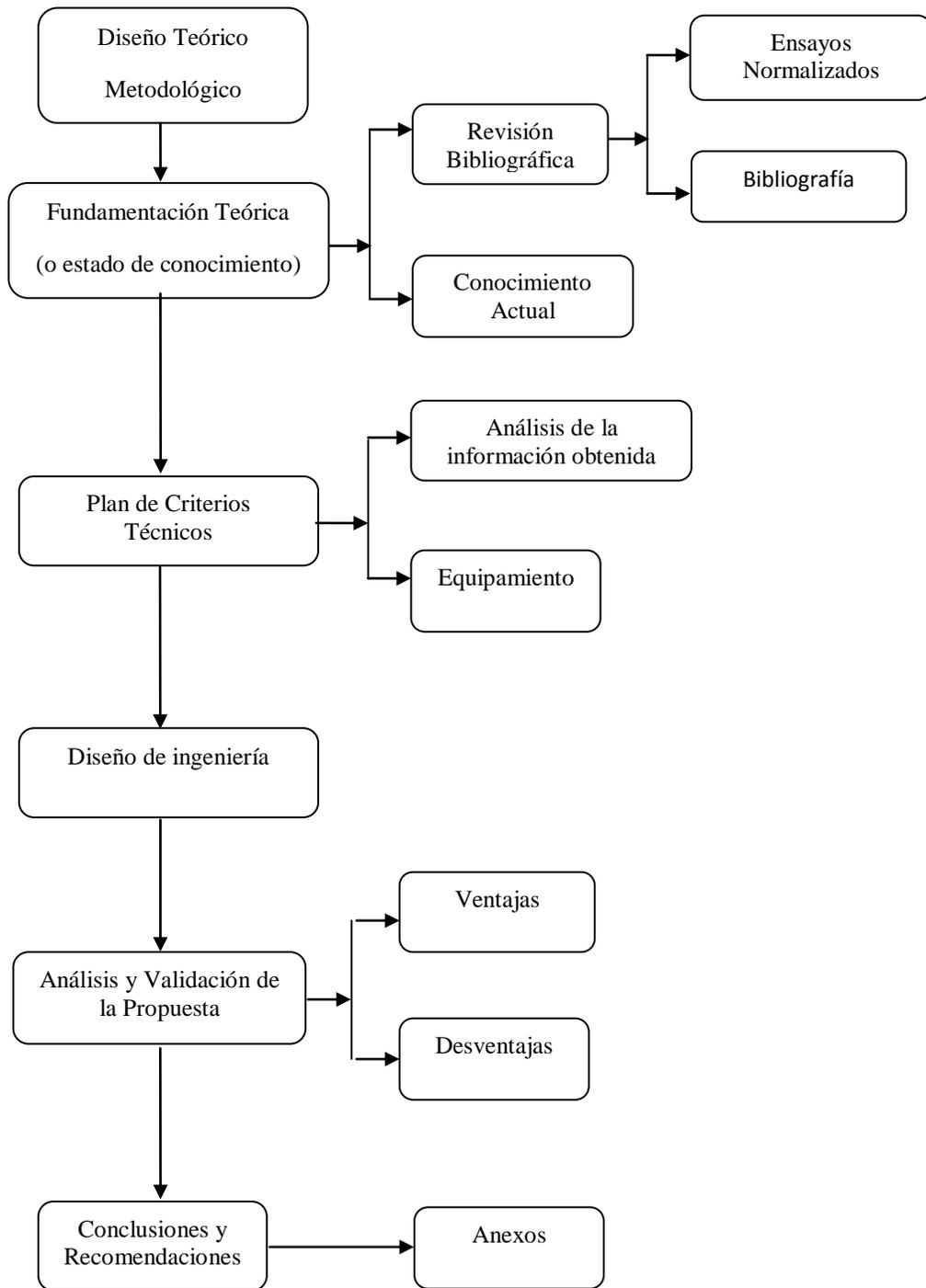
- Consolidar un estado de conocimiento, basado en experiencias e información bibliográfica.
- Toma de muestras alteradas e inalteradas del lugar.
- Identificar el tipo de suelo que compone nuestro lugar de estudio.
- Realizar el análisis del peso específico natural mediante el método de Cono de Arena.
- Realizar el análisis para la obtención de la cohesión, mediante el método de compresión simple o inconfinaada.
- Análisis de los resultados obtenidos en laboratorio.
- Determinar el coeficiente de Factor de Seguridad adecuado para el desarrollo de este proyecto.
- Realizar el estudio por medio de un software de aplicación por los métodos de Janbu y Bishop para determinar el grado de inestabilidad.
- Realizar el diseño de alternativas de solución, a fin de elaborar recomendaciones de aplicación.

1.5.Diseño Metodológico

1.5.1. Descripción

En este trabajo se espera realizar un estudio de estabilidad de taludes con el fin de mitigar al máximo el riesgo de derrumbes en el talud Próximo a la Plazuela Luis Pizarro de la ciudad de TARIJA, para proponer una mejora constructiva que cubra las condiciones técnicas y sociales del problema.

1.5.2. Esquema Lógico Estructural



1.6.Alcance

Capítulo I

En este capítulo se espera dar una breve introducción a lo que es la estabilidad de taludes y la gran importancia que tiene con respecto a la problemática que se suscita en nuestro día a día y al mismo tiempo plantear una posible solución al problema, desde el punto de vista de un estudiante de ingeniería civil.

Capitulo II

Se profundiza en lo que es el estudio de estabilidad de taludes, con respecto a los distintos tipos y métodos de prevenciones y elución de amenaza de deslizamiento, escogencia de los factores de seguridad y estructuras de control para de esta manera dar una solución técnica para el presente proyecto.

Capitulo III

En este capítulo se hablara de las características más importantes de los suelos, los factores que influyen en la estabilidad de taludes y los distintos métodos de análisis de estabilidad. Con el fin de obtener conceptos básicos que nos servirán para la realización del presente proyecto.

Capitulo IV

Se realizara la identificación del sitio, para extraer muestras alteradas e inalteradas para su posterior estudio; con las muestras alteradas se realizaran los estudios de clasificación de suelos que comprende de contenido de humedad, granulometría y límites de Atterberg, también se realizara los ensayos de peso específico y compactación T-99; y con la muestra inalterada se realizaran los ensayos de compresión simple, para la determinación de la cohesión y ángulo de fricción interna.

Obteniendo todos los datos requeridos se resolverá la inestabilidad por los métodos antes mencionados.

Finalmente se dará la solución que mejor se adecue a estos casos, siendo esta con criterio técnico, económico y ambiental.

Capítulo V

En este capítulo destacaremos las conclusiones que se obtendrán del estudio y comparar con los objetivos que se plantearon, si fueron los que se esperaban o caso contrario recomendar las posibles fallas que se realizaron en el estudio.

1.7. Medios y Técnicas

Los medios que se utilizaran serán realizados en el laboratorio de suelos y hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA.

Las técnicas para la obtención de nuestros datos serán mediante ensayos de laboratorio normalizados, análisis de curvas obtenidas, análisis de fórmulas empíricas si es necesario de acuerdo al criterio de analogía seleccionada y el análisis de estabilidad los realizaremos mediante software que contempla ambos métodos de calculo que son el de Bishop y Janbu.

2. CAPITULO II - ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1.Introducción

El objetivo principal de un estudio de estabilidad de taludes o laderas es el de establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo.

Generalmente, los beneficios más importantes desde el punto de vista de reducción de amenazas y riesgos es la prevención.

Schuster y Kockelman (1996) proponen una serie de principios generales y metodologías para la reducción de amenazas de deslizamiento utilizando sistemas de prevención, los cuales requieren de políticas del Estado y de colaboración y conciencia de las comunidades. Sin embargo, la eliminación total de los problemas no es posible mediante métodos preventivos en todos los casos y se requiere establecer medidas de control para la estabilización de taludes susceptibles a sufrir deslizamientos o deslizamientos activos. La estabilización de deslizamientos activos o potencialmente inestables es un trabajo relativamente complejo, el cual requiere de metodologías de diseño y construcción.

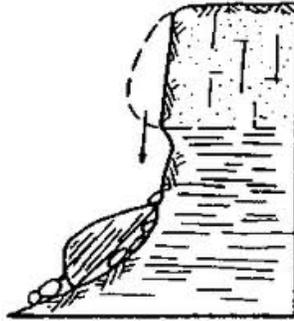
Cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal permanente. Son Apoyados sobre la base de laderas de pendiente muy alta. Estos taludes son conformados por bloques de roca depositados por gravedad, especialmente por caídos de roca y/o suelo.

Para determinar la estabilidad de una masa de suelo debemos determinar su coeficiente de seguridad al deslizamiento. Al existir un coeficiente de seguridad igual a 1, se produce el deslizamiento del talud. Debemos comparar la colaboración de esfuerzos que tienden a producir el deslizamiento (esfuerzos motores) con aquellos que tienden a evitarlo (esfuerzos resistentes) se debe definir la superficie de falla.

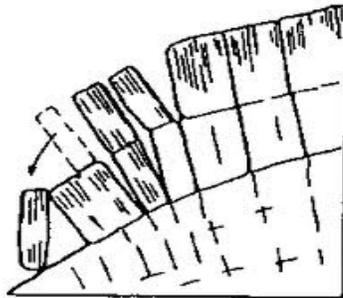
2.1.1. Tipos de falla de Taludes

Según Varnes (1978) tenemos los siguientes tipos de fallas comunes en los taludes:

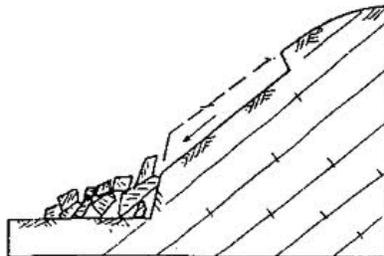
Figura 1



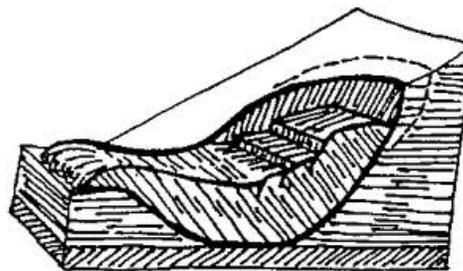
a) Caídas



b) Vuelco



c) Deslizamiento



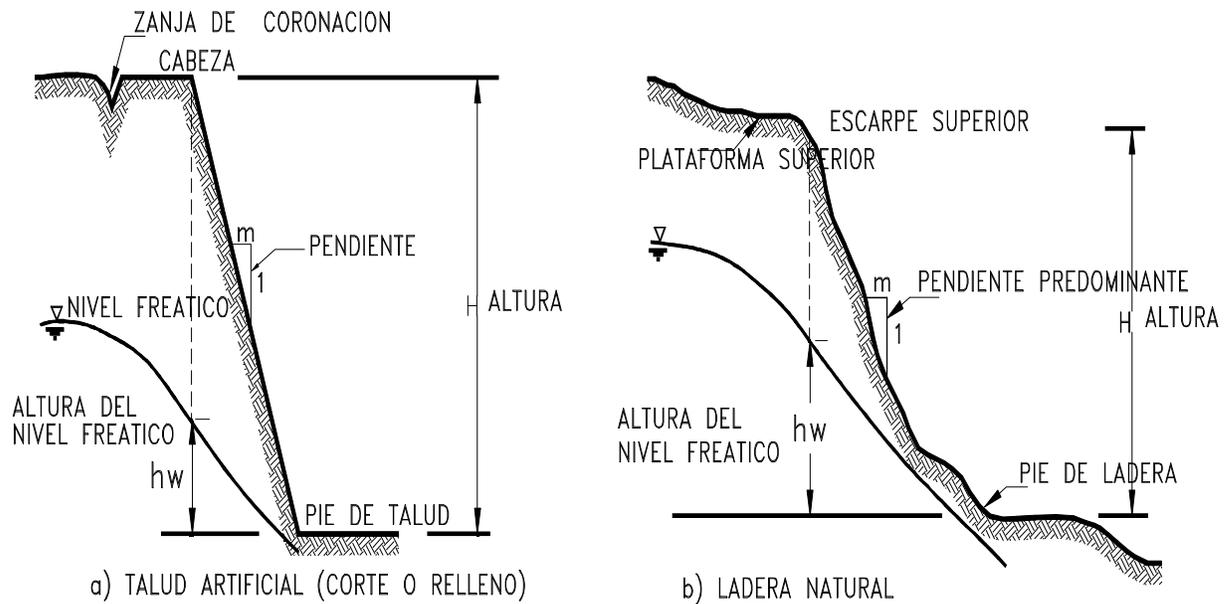
d) Flujo

Tipos de falla de taludes

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

2.1.2. Nomenclatura de un talud.

Figura 2



Nomenclatura de un talud

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

En el talud 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.

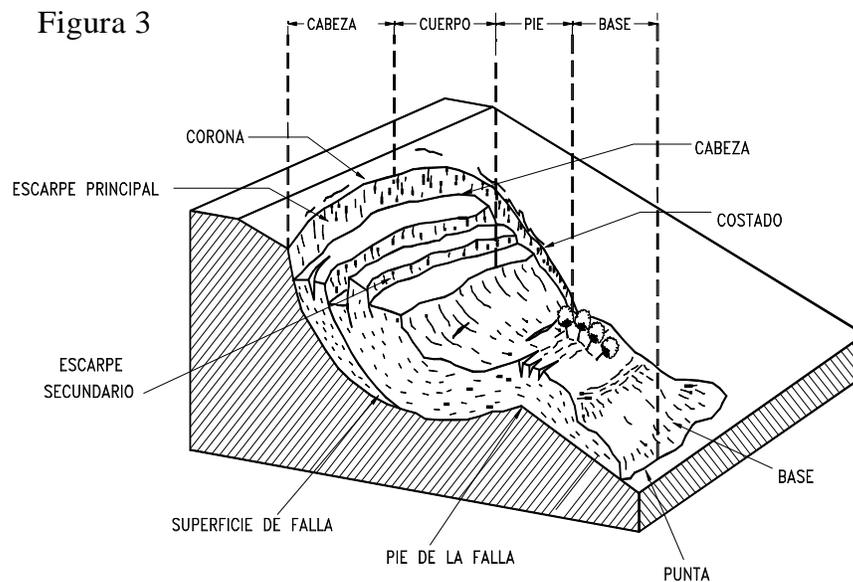
Pendiente. Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

Existen, además, otros factores topográficos que se requiere definir como son longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal) y área de cuenca de drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud.

2.1.3. 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.

En la figura 2 se muestra un deslizamiento o movimiento en masa típico, con sus diversas partes cuya nomenclatura es la siguiente:



Nomenclatura de procesos de movimientos.

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

Escarpe principal

Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferie 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

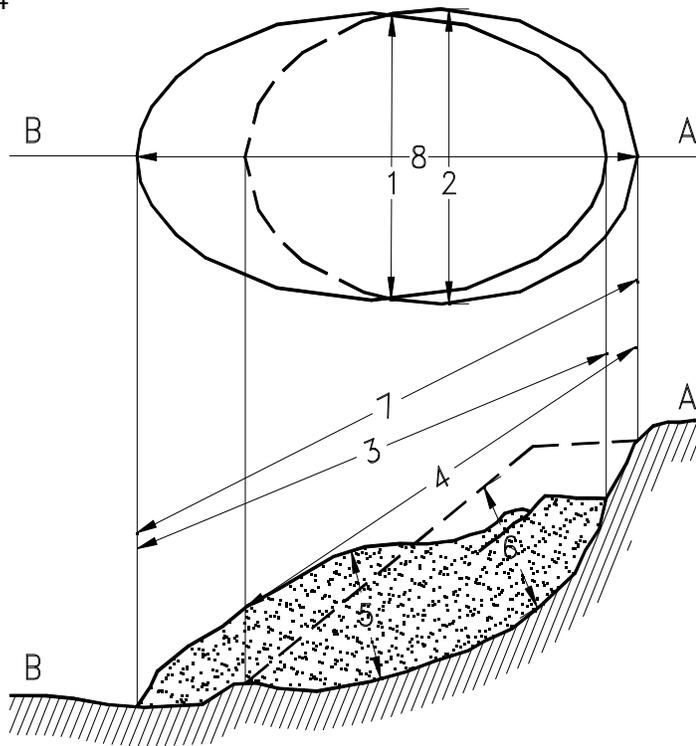
Un lado (perfil lateral) del movimiento.

Superficie original del terreno

La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

2.1.4. Dimensiones de un movimiento

Figura 4



Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a AIEG (1990).

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología recomendada.

Ancho de la masa desplazada $W_d(1)$

Ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud, L_d .

Ancho de la superficie de falla $W_r(2)$

Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud L_r .

Longitud de la masa deslizada $L_d(3)$

Distancia mínima entre la punta y la cabeza.

Longitud de la superficie de falla $L_r(4)$

Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.

Profundidad de la masa desplazada $D_d(5)$

Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por W_d y L_d

Profundidad de la superficie de falla $D_r(6)$

Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por W_r y L_r .

Longitud total L (7)

Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.

Longitud de la línea central $L_{cl}(8)$

Distancia desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes laterales o flancos.

El volumen de material medido antes del deslizamiento generalmente, aumenta con el movimiento debido a que el material se dilata. El término "Factor de expansión" puede ser utilizado para describir este aumento en volumen, como un porcentaje del volumen antes del movimiento.

En algunas ocasiones como en el caso de roca el factor de expansión puede ser hasta de un 70%.

2.2. Métodos para disminuir o eliminar riesgos

Una vez estudiado el talud, definidos los niveles de amenaza y riesgo, el mecanismo de falla y analizados los factores de equilibrio, se puede pasar al objetivo final que es el diseño del sistema de prevención control o estabilización.

Existen varias formas de enfocar y resolver cada problema específico y la metodología que se requiere emplear depende de una serie de factores técnicos, sociales, económicos, políticos; con una gran cantidad de variables en el espacio y en el tiempo.

A continuación se presentan algunas de las metodologías utilizadas para disminuir o eliminar el riesgo a los deslizamientos de tierra:

2.2.1. Prevención

La prevención incluye el manejo de la vulnerabilidad, evitando la posibilidad de que se presenten riesgos o amenazas. La prevención debe ser un programa del estado, en todos sus niveles mediante una legislación y un sistema de manejo de amenazas que permita disminuir los riesgos a deslizamiento en un área determinada.

Tabla 1

| Método | Ventajas | Desventajas |
|-----------------------------------|--|---|
| Disuación con medidas coercitivas | Son muy efectivas cuando la comunidad está consciente del riesgo y colabora con el estado. | El manejo de los factores socioeconómicos y sociales es difícil |
| Planeación del uso de la tierra | Es una solución ideal para zonas urbanas y es fácil de implementar. | No se puede aplicar cuando ya existe el riesgo. |
| Codigos Tecnicos | Presenta herramientas precisas para el control y prevención de amenazas. | Se requiere de una entidad que los haga cumplir. |
| Aviso y Alarma | Disminuye en forma considerable el riesgo cuando es inminente. | Generalmente se aplica después de ocurrido el desastre. |

Métodos de Prevención

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

2.2.2. Elusión De La Amenaza

Eludir la amenaza consiste en evitar que los elementos en riesgo sean expuestos a la amenaza de deslizamiento.

Tabla 2

| Método | Aplicaciones | Limitaciones |
|--|---|--|
| Variantes o relocalización del proyecto | Se recomienda cuando existe el riesgo de activar grandes deslizamientos difíciles de estabilizar o existen deslizamientos antiguos de gran magnitud. Puede ser el mejor de los métodos si es económico hacerlo. | Puede resultar costoso y el nuevo sitio o alineamiento puede estar amenazado por deslizamiento. |
| Remoción total de deslizamientos | Es atractivo cuando se trata de volúmenes pequeños de excavación. | La reacción de los deslizamientos puede producir nuevos movimientos. |
| Remoción parcial de materiales inestables. | Se acostumbra el remover los suelos subsuperficiales inestables cuando sus espesores no son muy grandes. | Cuando el nivel frático se encuentra subsuperficial se dificulta el proceso de excavación. |
| Modificación del nivel del proyecto o subrasante de una vía. | La disminución de la altura de los cortes en un alineamiento de gran longitud puede resolver la viabilidad técnica de un proyecto. | Generalmente, al disminuir la altura de los cortes se desmejoran las características del proyecto. |

Métodos de Elusión de Amenaza

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

2.2.3. Control

Métodos tendientes a controlar la amenaza activa antes de que se produzca el riesgo a personas o propiedades. Generalmente, consisten en estructuras que retienen la masa en movimiento. Este tipo de obras se construyen abajo del deslizamiento para detenerlo después de que se ha iniciado.

Tabla 3

| Método | Ventajas | Desventajas |
|--------------------------|---|---|
| Bermas | Generalmente son económicas rápidas de construir. | Se requiere un espacio grande a la mitad del talud. |
| Trincheras | Sirven al mismo tiempo para controlar las aguas de lluvias. | No se puede aplicar cuando ya existe el riesgo. |
| Estructuras de retención | Retienen las masas en movimiento. | Se requiere de una entidad que los haga cumplir. |
| Cubiertas de Protección. | Son uno de los métodos más efectivos para disminuir el riesgo en carreteras | Son muy costosas. |

Métodos de Control

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

2.2.4. Estabilización

La estabilización de un talud comprende los siguientes factores:

1. Determinar el sistema o combinación de sistemas de estabilización más apropiados, teniendo en cuenta todas las circunstancias del talud estudiado.
2. Diseñar en detalle el sistema a emplear, incluyendo planos y especificaciones de diseño.
3. Instrumentación y control durante y después de la estabilización.

Debe tenerse en cuenta que en taludes, nunca existen diseños detallados inmodificables y que las observaciones que se hacen durante el proceso de construcción tienden generalmente, a introducir modificaciones al diseño inicial y esto debe preverse en las cláusulas contractuales de construcción.

Los sistemas de estabilización se pueden clasificar en cinco categorías principales:

Recubrimiento De La Superficie

Métodos que tratan de impedir la infiltración o la ocurrencia de fenómenos superficiales de erosión, o refuerzan el suelo más subsuperficial.

El recubrimiento puede consistir en elementos impermeabilizantes como el concreto o elementos que refuercen la estructura superficial del suelo como la cobertura vegetal.

Tabla 4

| Método | Ventajas | Desventajas |
|--|--|---|
| Recubrimiento de la superficie del talud. | El recubrimiento ayuda a controlar la erosión. | Se debe garantizar la estabilidad del recubrimiento. |
| Conformación de la superficie. | Puede mejorar las condiciones del drenaje superficial y facilitar el control de erosión. | Su efecto directo sobre la estabilidad es generalmente, limitado. |
| Sellado de grietas superficiales. | Disminuye la infiltración de agua. obras para controlar la erosión. | Las grietas pueden abrirse nuevamente y se requiere mantenimiento por periodos importantes de tiempo. |
| Cobertura vegetal, Arboles, arbustos y pastos. | Representan una alternativa ambientalmente excelente. | Pueden requerir mantenimiento para su establecimiento. |

Métodos de Recubrimiento de la Superficie

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

Conformación Del Talud O Ladera

Sistemas que tienden a lograr un equilibrio de masas, reduciendo las fuerzas que producen el movimiento.

Tabla 5

| Método | Ventajas | Desventajas |
|--|---|---|
| Remoción de materiales de la cabeza del talud. | Muy efectivo en la estabilización de deslizamientos rotacionales. | En movimientos muy grandes las masas a remover tendrían una gran magnitud |
| Abatimiento de la pendiente. | Efectivo especialmente en suelos friccionantes. | No se puede aplicar cuando ya existe el riesgo. |
| Terraceo de la superficie. | Además de la estabilidad al deslizamiento, permite construir obras para controlar la erosión. | Cada terraza debe ser estable independientemente. |

Métodos de Conformación del Talud o Ladera

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

Control De Agua Superficial Y Subterránea

Sistemas tendientes a controlar el agua y sus efectos, disminuyendo fuerzas que producen movimiento y / o aumentando las fuerzas resistentes.

Tabla 6

| Método | Ventajas | Desventajas |
|--|---|--|
| Canales superficiales para control de escorrentía. | Se recomienda construirlos como obra complementaria en la mayoría de los casos. Generalmente, las zanjas se construyen arriba de la corona del talud. | Se debe garantizar la estabilidad del recubrimiento. |
| Subdrenes de zanja. | Muy efectivos para estabilizar deslizamientos poco profundos en suelos saturados subsuperficialmente. | Poco efectivos para estabilizar deslizamientos profundos o deslizamientos con nivel freático profundo. |
| Subdrenes horizontales de penetración. | Muy efectivos para interceptar y controlar aguas subterráneas relativamente profundas. | se requieren equipos especiales de perforación y su costo puede ser alto. |
| Galerías o túneles de subdrenaje. | Efectivos para estabilizar deslizamientos profundos en formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterráneas. | Muy costosos. |

Métodos de Control de Agua Superficial y Subterránea

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

Estructuras De Contención

Métodos en los cuales se van a colocar fuerzas externas al movimiento aumentando las fuerzas resistentes, sin disminuir las actuantes.

Las estructuras de contención son obras generalmente masivas, en las cuales el peso de la estructura es un factor importante y es común colocar estructuras ancladas en las cuales la fuerza se transmite al deslizamiento por medio de un cable o varilla de acero.

Cada tipo de estructura tiene un sistema diferente de trabajo y se deben diseñar de acuerdo a su comportamiento particular.

Tabla 7

| Método | Ventajas | Desventajas |
|---|--|--|
| Relleno obermas de roca o suelo en la base del deslizamiento. | Efectivos en deslizamientosno muy grandes, especialmente en los rotacioneales actuando como contrapeso. | Se requiere una cimentacion competente para colocar el relleno. |
| Muros de contencion convencionales, de tierra armada, etc. | Utiles para estabilizar masas relativamente pequeñas. | Se requiere una buena calidad de cimentacion. Son poco efectivos en taludes de gran altura. |
| Pilotes | Son efectivos en movimientos poco profundos, en los cuales existe suelo debajo de la superficie de falla que sea competente para permitir el . | No son efectivos en deslizamientos profundos o cuando aparece roca o suelo muy duro debajo de la superficie de falla . |
| Pantallas ancladas. | Utiles como estructuras de contencion de masas de tamaño pequeño a mediano. | Existen algunas incertidumbres sobre su efectividad en algunos casos, especialmente, cuando hay aguas subterrneas y son generalmente costosas. |

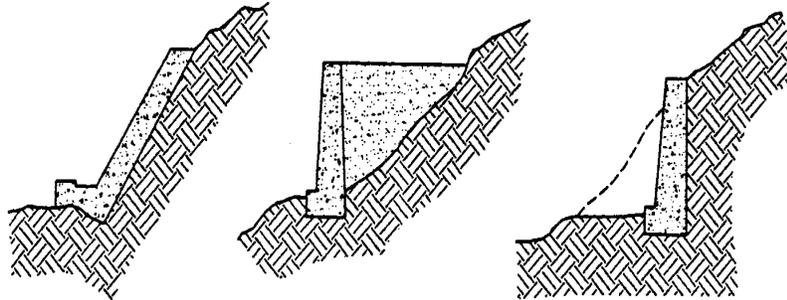
Método de Estructuras de Contención

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

- **Muros de hormigón en masa o de gravedad.**

Son los más antiguos y en ellos el propio peso actúa como estabilizador. Su relación altura/ancho (H/B) de estos muros suele estar comprendida entre 1,5 a 2, y se destaca su facilidad constructiva y reducido costo cuando son de poca altura.

Figura 5



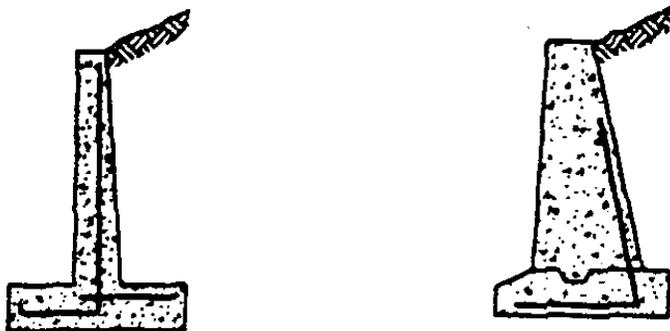
Muros de hormigón en masa

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

- **Muros de hormigón armado.**

Son muros armados interiormente con redondos de acero y diseñados para soportar esfuerzos de tracción. Estos exigen menor cantidad de hormigón que los anteriores.

Figura 6



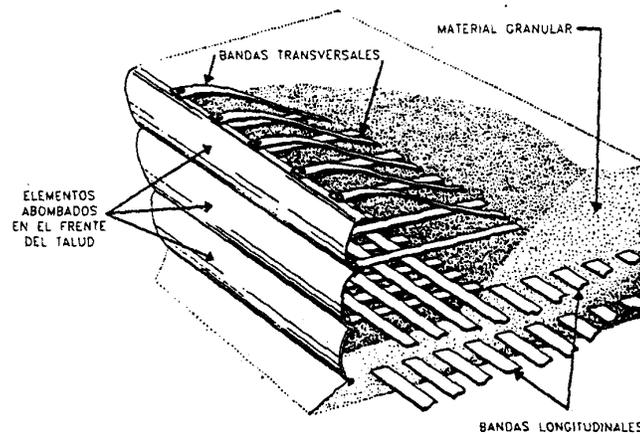
Muros de hormigón armado

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

- **Muros de tierra armada**

Son muros construidos mediante tongadas de materiales de relleno, colocados entre éstos elementos tales como bandas metálicas, materiales plásticos, elementos prefabricados de hormigón o geotextiles, reforzando el muro y proporcionando, mediante el rozamiento entre el suelo y los diferentes elementos estructurales, estabilidad al conjunto.

Figura 7



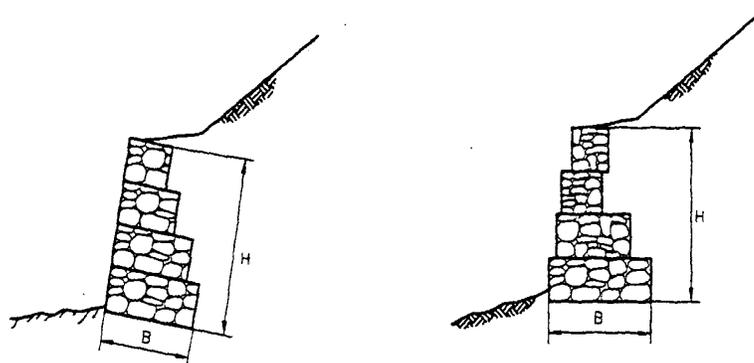
Muros de tierra armada

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

- **Muros de gaviones.**

Un gavión consiste en una estructura paralelepípedica elaborada con mallas de alambre galvanizado de triple torsión y rellenas con la piedras.

Figura 8



Muros de gaviones

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

2.2.5. Escogencia Del Factor De Seguridad

Otra decisión que afronta el Ingeniero es la decisión sobre el factor de seguridad.

Una idea general de los factores a emplear permite recomendar los siguientes factores de seguridad mínimos:

Tabla 8

| Caso | Factor de Seguridad |
|---|---------------------|
| Si puede ocurrir la perdida de vidas humanas al fallar el talud | 1,7 |
| Si la falla puede producir la perdida de mas del 30% de la inversion de la obra especifica o perdidas consideradas importantes. | 1,5 |
| Si se pueden producir perdidas economicas no muy importantes. | 1,3 |
| Si la falla del talud no causa daños. | 1,2 |
| | |

Métodos de Escogencia del Factor de Seguridad

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

2.3. Métodos de elusión de la amenaza

Previamente a la aplicación de un método de elusión debe estudiarse la posibilidad de aplicación de sistemas de estabilización en los aspectos técnicos y económicos. No es una buena práctica de ingeniería el tratar de eludir los problemas antes de intentar resolverlos.

La presencia de deslizamientos de gran magnitud difíciles de estabilizar es un argumento de gran peso para sustentar un proceso de elusión. Debe tenerse en cuenta que en ocasiones estos deslizamientos son movimientos antiguos, los cuales han sido disfrazados por procesos nuevos de meteorización, erosión o por vegetación o actividades humanas. La no-detección de estos grandes deslizamientos en la fase de planeación puede acarrear costos muy altos en el momento de la construcción.

En el caso de talud o coluviones producto de antiguos movimientos, cualquier corte o cambio de las condiciones de precaria estabilidad pueden generar nuevos movimientos.

Construcción de variantes

Al reconocer y cuantificar un deslizamiento puede resultar más ventajoso para el proyecto, el modificarlo para evitar la zona problema. Para aplicar este método correctamente se requiere un conocimiento geológico y geotécnico muy completo de la zona, que permita concluir que no es técnica o económicamente viable la utilización de un sistema de estabilización y que es recomendable la elusión del problema, modificando el proyecto, construyendo una variante vial, etc.

Remoción total de la masa de los deslizamientos o los materiales inestables

Cuando no es posible la construcción de una variante se puede considerar el remover total a parcialmente los materiales de los deslizamientos antiguos o con riesgo de activación. La remoción de materiales inestables va desde el descapote o remoción de los primeros metros de suelo hasta la eliminación de todo el material inestable.

Generalmente, hay limitaciones prácticas al empleo de este método por los volúmenes de tierra que se requiere manejar y la falta de espacio para colocar esta tierra, teniendo en cuenta sus efectos ambientales.

En terraplenes a media ladera se acostumbra remover la totalidad de la capa subsuperficial de materiales inestables previamente a la colocación del terraplén.

En taludes en roca es muy común la remoción de los bloques inestables de material. Esto puede incluir la remoción de la roca acumulada sobre las gradas, la conformación de la superficie y la remoción de salientes, utilizando explosivos.

La remoción de roca puede ser muy peligrosa para los operarios que hacen el trabajo, así como para personas en áreas cercanas, vehículos, etc.

Generalmente, se requiere suspender el tráfico en las vías para remover los bloques de roca y construir estructuras de protección para las obras existentes en áreas cercanas.

2.4. Protección de la superficie del Talud

El objetivo de la protección de la superficie del talud es prevenir la infiltración debido a la lluvia y mantener el suelo parcialmente seco. Las medidas de protección incluyen el concreto lanzado, los bloques de mampostería, la protección con piedras, el recubrimiento con productos sintéticos. Estos recubrimientos pueden complementarse con prácticas de cobertura vegetal. Aunque, el factor de seguridad no se modifica teóricamente, en la práctica sí se produce un efecto estabilizante al mantener las fuerzas de succión o presiones negativas, las cuales actúan como fuerzas resistentes que tratan de impedir las fallas al cortante o el colapso. El recubrimiento de la superficie de un talud con productos artificiales puede implicar un aumento en los valores de escurrimiento, lo cual requiere de la construcción de estructuras de control de aguas superficiales capaces de manejar los volúmenes producidos de acuerdo a la intensidad de las lluvias.

Concreto Lanzado

El concreto lanzado es una mezcla de cemento y agregados, los cuales se pueden colocar en seco o por vía húmeda.

Generalmente, se coloca una malla de refuerzo previamente al lanzamiento del concreto. Se debe tener especial cuidado en las consecuencias de procesos de expansión y contracción, los cuales pueden destruir por agrietamiento la superficie de los taludes.

Para facilitar el drenaje, se deben construir huecos o lloraderos que atraviesen la superficie de recubrimiento y, en esta forma evitar las presiones de poro por represamiento de agua subterránea.

Recubrimiento en suelo cemento

El recubrimiento en suelo cemento puede mejorar las condiciones de permeabilidad de un talud haciéndolo relativamente impermeable y, en esta forma disminuyendo la infiltración. En Hong Kong y los países del Sureste Asiático, se utiliza con mucha frecuencia un recubrimiento llamado “Chunam Plaster”, el cual consiste en una mezcla de cemento, cal y suelo, generalmente, en las siguientes proporciones: una

parte de cemento Portland, tres partes de cal hidratada y veinte partes de suelo residual de granitos o suelos volcánicos (Geotechnical Control Office, 1984). El suelo debe estar libre de materia orgánica y raíces. El cemento y la cal deben mezclarse secas antes de agregarlas al suelo. Se agrega la mínima cantidad de agua consistente con la trabajabilidad de la mezcla. Si la relación agua-cemento es muy alta se produce agrietamiento severo del recubrimiento. Generalmente, el Chunam se aplica en dos capas cada uno de aproximadamente 3 cm. La primera capa es escarificada antes de colocar la segunda, dejando un tiempo de aproximadamente de 24 horas entre las dos capas. Con frecuencia, se utiliza un sistema de anclajes o dovelas de 30 cm. de longitud clavadas a distancias de 1.5 metros.

Mampostería

La mampostería puede consistir en bloques de concreto o en piedra pegada con concreto o mortero. Las juntas entre bloques adyacentes generalmente, se rellenan con un mortero 3 a 1 o se utiliza vegetación. En el caso de recubrimiento utilizando concreto o mortero se deben dejar lloraderos para evitar la acumulación de aguas subterráneas.

2.5.Modificación de la Superficie

2.5.1. Abatimiento de la pendiente del talud

Al disminuir la pendiente del talud, el círculo crítico de falla se hace más largo y más profundo para el caso de un talud estable, aumentándose en esta forma el factor de seguridad. El abatimiento se puede lograr por corte o por relleno.

El abatimiento de la pendiente del talud es económicamente posible en taludes de poca altura, pero no ocurre lo mismo en taludes de gran altura, debido al aumento exagerado de volumen de tierra de corte con el aumento de la altura. El abatimiento por relleno en ocasiones no es posible por falta de espacio en el pie del talud.

2.5.2. Terrazas o bermas intermedias

La construcción de terrazas en la parte alta de un deslizamiento de rotación tiende a reducir el momento actuante y controlar el movimiento. Si el proceso se hace en la parte inferior se puede lograr el proceso inverso de disminuir el factor de seguridad. En deslizamientos de traslación y en ciertos flujos o deslizamientos de residuos generalmente no es efectivo emplear métodos de remoción de materiales.

El efecto es el de disminuir las fuerzas actuantes, en la zona más crítica para la generación de momentos desestabilizantes. En esta forma el círculo crítico de falla se hace más profundo y más largo aumentándose el factor de seguridad. Al construir las terrazas el talud puede quedar dividido en varios taludes de comportamiento independiente, los cuales a su vez deben ser estables. El terraseo se lo puede realizar con el propósito de controlar la erosión y facilitar el establecimiento de la vegetación. La altura de las gradas es generalmente, de 5 a 7 metros y cada grada debe tener una cuneta revestida para el control del agua superficial. El sistema de cunetas a su vez debe conducir a una estructura de recolección y entrega con sus respectivos elementos de disipación de energía.

En suelos residuales generalmente, la grada más alta debe tener una pendiente menor, teniendo en cuenta que el suelo subsuperficial es usualmente el menos resistente. Las terrazas generalmente, son muy útiles para control de aguas de escorrentía.

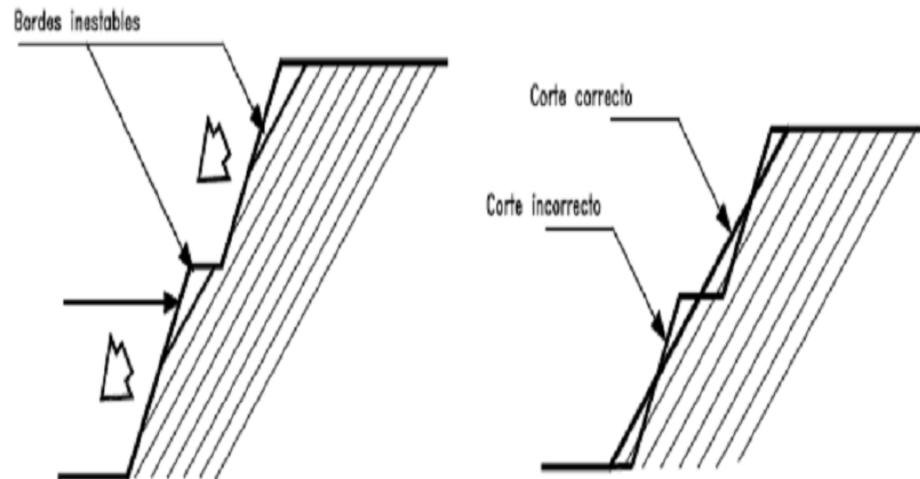
En todos los casos debe considerarse el efecto que se puede tener sobre los taludes arriba y abajo de la terraza a excavar.

2.5.3. Diseño de la geometría de las bermas

Uno de los objetivos principales del área de la estabilidad de taludes, es el diseño de taludes topográficamente estables. Este tipo de problema se le presenta al Ingeniero en el trazado de vías, explanaciones, exploraciones mineras, urbanizaciones, etc. El diseño comprende las decisiones de tipo

topográfico y estabilización que se requiere presupuestar, previamente a la construcción de la obra civil.

Figura 9



Cortes en taludes con juntas semiparalelas a la topografía del terreno

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

El diseño de un talud consiste en definir su altura, pendiente y elementos topográficos con base en parámetros geotécnicos

Un sistema que funcionó exitosamente en un sitio, no necesariamente es aplicable en otro.

3. CAPITULO III – FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y METODOS DE RESOLUCION

3.1. Factores que intervienen en la Estabilidad de un talud

Los factores más importantes que intervienen en la estabilidad o inestabilidad de cualquier talud se los conceptualiza de la siguiente manera:

3.1.1. Conceptualización de suelos estables e inestables

-Suelos inestables.

En suelos eminentemente granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementación o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a cero, es a estos suelos que se les denomina suelos no cohesivos, por lo tanto se puede decir también que son suelos inestables.

- Suelos estables.

Se dice que un suelo es estable cuando presenta una resistencia a la penetración, generalmente estos suelos llamados estables son los suelos cohesivos como las arcillas que presentan una fácil cementación o adherencia entre sus partículas.

3.1.2. Descripción de factores que influyen en la estabilidad de un talud

Factor Agua

El agua es uno de los factores más negativos que intervienen en las fallas de los taludes sobre todo de las zonas tropicales y en periodos lluviosos, en los que además de tratar con el agua superficial tenemos que controlar también el agua subterránea, ya que el agua esta íntegramente relacionada con los deslizamientos.

Para conocer mejor este factor de inestabilidad debemos estudiar las diversas formas en las que se encuentra el agua además de los efectos que provoca y en lo posible obtener la información precisa de las lluvias en el tramo donde

se encuentra el talud en estudio, ya que parte de estas lluvias se infiltra y la otra parte corre por la superficie como escorrentía.

La humedad superficial del terreno define porcentajes de escorrentía e infiltración y en algunas ocasiones el comportamiento de los taludes ya que está controlada por la pendiente, características climáticas, tipo de suelo y la vegetación.

La infiltración es el movimiento del agua que penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo o roca por los poros de la masa terrestre y está sujeta a varios factores como la cantidad, intensidad, tipo de precipitación, ritmo de precipitación, pendiente superficial, permeabilidad de suelos y rocas, cantidad y tipo de vegetación existente.

El nivel freático es el nivel de agua presente en el talud que puede tener como base el pie del mismo o puede estar suspendido por un manto impermeable dentro del propio talud, es una línea de presión de poros igual a cero que en general sigue una línea aproximadamente paralela a la superficie del terreno.

El agua superficial o escorrentía es la proporción de agua de precipitación que fluye superficialmente sobre el suelo y cuanto más pronunciado, impermeable y desprovisto de vegetación es el talud y más fuertes las lluvias, mayor es la parte de las mismas que se convierte en escorrentía.

La erosión hídrica es otro fenómeno ocasionado por el agua y sus fuerzas hidráulicas las cuales producen el desprendimiento, transporte y depósito de los materiales de suelo y roca por la acción del agua en movimiento, si la velocidad de escorrentía es mayor que la velocidad máxima erosionante se produce una erosión superficial, esta velocidad de escorrentía depende de factores como la pendiente, intensidad de la lluvia, cantidad de agua presente y rugosidad de la superficie del terreno.

Estos son algunos de los efectos negativos del agua que pueden estar presentes en el talud, efectos que debemos conocer por ser uno de los principales factores de falla o deslizamiento

Factor Viento

El viento es un factor que está relacionado con el clima y también con la vegetación, las fuerzas del viento son significativas ya que este junto con el agua son los agentes principales en el proceso de meteorización, proceso por el cual los fragmentos de roca se hacen cada vez más pequeños, se disuelven o van a formar nuevos compuestos.

El viento o aire atmosférico por sí solo, cuando es muy fuerte puede causar un efecto negativo sobre la vegetación y puede causar también procesos erosivos o lo que se conoce como erosión eólica que generan inestabilidad en el talud.

Factor Sismo

El sismo o los movimientos sísmicos también afectan en gran medida la estabilidad de un talud, puesto que pueden activar los deslizamientos ya que aumenta el esfuerzo cortante y disminuye la resistencia debido al aumento de la presión de los poros, y puede producirse una falla al cortante y hasta la licuación, en el caso de los suelos granulares saturados.

Existen factores a tomar muy en cuenta para el análisis de un talud expuesto a movimientos sísmicos, factores como el valor de fuerzas sísmicas aplicadas sobre las masas de suelo potencialmente deslizables; disminución de la resistencia debida a las cargas vibratorias; aumento de la presión de los poros especialmente en suelos limosos y arenas finas en los cuales se produce una disminución de resistencia y esto origina el fenómeno de la licuación; aumento de la fuerza sísmica generado por la amplificación en los mantos de los suelos blandos; posibles fenómenos de resonancia relacionados con la similitud entre la frecuencia de vibración del talud y la del evento sísmico; magnitud de las deformaciones en las masas de suelo.

Por lo que se puede apreciar los sismos son eventos naturales que pueden provocar grandes deslizamientos de masas de suelo y de roca cuando ésta es fracturada, volviendo estas zonas en zonas de falla geológica, zonas con las que es muy difícil tratar debido a la tremenda inestabilidad que presentan.

Factor Sobrecargas

Las sobrecargas a las que se somete un talud es también motivo de preocupación, ya que el hombre es el permanente modificador de los elementos que conforman la superficie de la tierra, modificaciones que afectan en forma importante la estabilidad de un talud.

Como ejemplos de estas modificaciones tenemos el descargue del talud por remoción de suelos y rocas por corte, sobrecarga por medio de rellenos, casas o edificios, hundimiento debido a excavaciones para túneles, procesos de urbanización, incluso la deforestación y ausencia de cobertura vegetal provocan una sobrecarga, puesto que al no existir vegetación el agua de precipitación infiltra con mayor rapidez aumentando de esta manera el peso propio del talud y originando una carga extra que lo vuelve aún más inestable produciendo deslizamientos.

La modificación de la topografía mediante cortes o rellenos puede producir la activación de un deslizamiento.

Figura 10



Inducción de esfuerzos de corte y relajación de esfuerzos de compresión al cortar para un semitúnel.

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

La colocación de rellenos directamente sobre los taludes que generalmente son sin compactar o mal compactados permiten también una sobrecarga del talud o ladera y la saturación y colapso de los suelos sueltos, facilitando los escurrimientos de suelo y la formación de cárcavas por erosión.

3.2. Características más importantes del suelo

Las características más importantes de los distintos tipos de suelos existentes en nuestra región son los siguientes:

Granulometría.

Dentro de lo que son las características, o mejor dentro del análisis mecánico de los suelos, se encuentra la granulometría, que no es más que obtener una distribución porcentual de los tamaños de las partículas que conforman lo que llamamos suelo.

La forma de realizar una granulometría es con la ayuda de un juego de mallas o tamices que tienen un tamaño graduado establecido por dos normas que son SUCS y AASHTO.

Entonces diremos que la granulometría es la determinación de los porcentajes de grava, arena, limo y arcilla presentes en la masa de un determinado suelo.

El análisis granulométrico consiste en pasar el suelo por una serie de tamices, previo conocimiento del peso total de la muestra, la fracción de suelo retenido en cada tamiz se calcula en forma individual con relación al peso total, y acto seguido es determinar los porcentajes que pasan por cada tamiz.

A continuación exponemos una distribución aproximada de los diámetros de las partículas desde las más finas, hasta las más gruesas:

Permeabilidad.

La permeabilidad en suelos es la propiedad que tienen los mismos de dejar penetrar el agua o cualquier fluido, la permeabilidad depende de varios factores como ser la viscosidad del fluido, la distribución del tamaño de los poros, la distribución granulométrica, la relación de vacíos, la rugosidad de las partículas minerales y el grado de saturación del suelo. Para los suelos arcillosos, la estructura, juega un papel muy importante en la permeabilidad.

La permeabilidad mide la resistencia interna de los materiales al flujo de agua y puede definir el régimen de agua subterránea o la concentración de corrientes.

Otro de los factores que intervienen en la permeabilidad de las arcillas es la concentración iónica y el espesor de las capas de agua adheridas a las partículas de arcillas.

Los valores del coeficiente de permeabilidad varían desde 100 cm/seg, en rocas fracturadas o suelos compuestos por arenas y gravas, hasta un valor de 10^{-10} cm/seg, en arcillas impermeables o en pizarras o granitos sanos.

La permeabilidad de los suelos se puede determinar con ensayos en laboratorio y existen y se manejan algunos valores típicos del coeficiente de permeabilidad para suelos saturados que se exponen a continuación:

Tabla 9

| Tipo de suelo | K (cm/seg.) |
|----------------|-----------------|
| Grava limpia | 100 - 1 |
| Arena gruesa | 1 - 0,01 |
| Arena fina | 0,01 - 0,001 |
| Arcilla limosa | 0,001 - 0,00001 |
| Arcilla | 0,000001 |

Valores del coeficiente de Permeabilidad para suelos saturados.

Fuente: Ingeniería de Carreteras Vol. II, Pardillo, Rocci, Mc Graw Hill España 2004.

Erosionabilidad

Se puede definir la erosionabilidad, como la facilidad con la que el suelo puede ser desprendido y también transportado por la acción directa del agua.

Este factor puede afectar sin duda la estabilidad de un talud o ladera, ya que produce cambios topográficos desestabilizantes o genera conductos internos de erosión.

- Resistencia al esfuerzo cortante del suelo

La resistencia al corte puede ser definida como el máximo valor que la tensión cortante puede alcanzar, a lo largo de un plano cualquiera en el interior del macizo, sin que se verifique la rotura de la estructura del suelo. Siendo que una grande parte

de esta resistencia proviene de la fricción entre las partículas del suelo, esta depende de la tensión normal aplicada sobre este plano. Por otro lado, la mayoría de los problemas de empuje puede ser aproximada a un estado de deformación, considerando apenas la sección principal del conjunto suelo-estructura y admitiendo que todas las otras secciones sean iguales a esta.

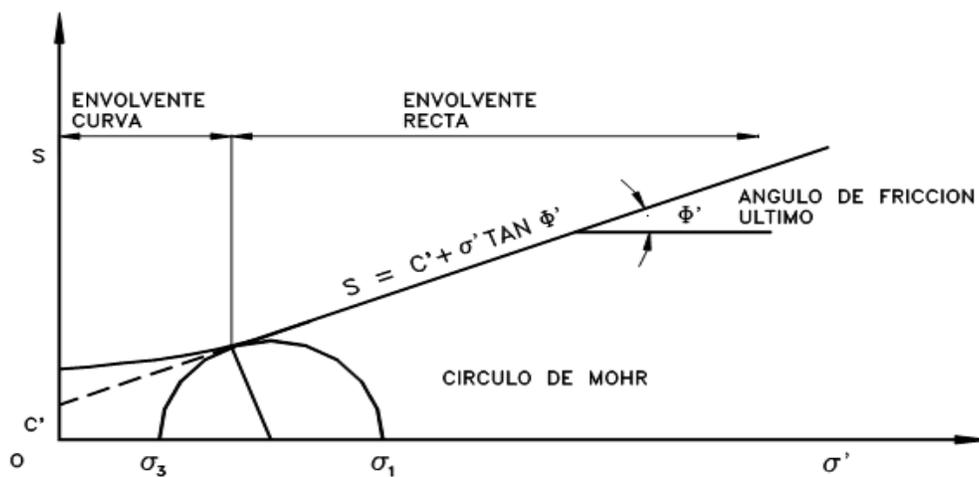
- Criterio de MOHR – COULOMB

La ley que determina la resistencia al corte del suelo es el criterio de rotura o de planificación del material. Se trata de un modelo matemático aproximado que relaciona la resistencia al estado de tensión actuante. En el caso de los suelos, el criterio más ampliamente utilizado es el criterio de Mohr - Coulomb que establece una relación entre la resistencia al corte y la tensión normal. El criterio de Mohr - Coulomb se basa en la ley de coulomb y en el criterio de rotura de Mohr. La ley de Coulomb determina que la resistencia al corte a lo largo de cualquier plano está dada por:

$$s = c + p \cdot \tan\phi$$

Donde “s” es la resistencia al corte, “c” es la cohesión y “ ϕ ” el ángulo de fricción interna.

Figura 11



Criterio de Mohr – coulomb

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

Además, la cohesión y el ángulo de fricción interna son los parámetros de resistencia al corte del suelo según este criterio de rotura y su determinación es fundamental en la determinación del empuje. Esta determinación es fundamental en la determinación del empuje.

Esta determinación puede ser obtenida por ensayos de laboratorio, como el ensayo de corte y los ensayos de compresión triaxial.

Pueden también ser estimados a partir de otras características del material.

Es importante mencionar que “c” y “ ϕ ” no son parámetros intrínsecos del suelo, son parámetros del modelo adoptado como criterio de rotura. Además de eso, el valor de esos parámetros depende de otros factores, como tenor de humedad, velocidad y forma de carga.

Y condiciones de drenaje. Estos valores pueden, inclusive, variar como el tiempo, lo que lleva a la conclusión de que el valor del empuje también puede variar con el tiempo. Esto lleva a un análisis mucho más complejo y cabe al proyectista identificar el momento en que las condiciones del problema más desfavorables.

- **Resistencia al corte de los suelos**

Los suelos no cohesivos son representados por las arenas y piedras, son también llamados suelos granulares. La resistencia al corte de esos suelos se debe principalmente a la fricción entre las partículas que los componen. De esa forma, la envolvente de resistencia puede ser expresada por:

$$\tau = \sigma \cdot \tan\phi$$

O sea, la cohesión “c” es nula y el ángulo de fricción interna es el único parámetro de resistencia. Los principales factores que determinan el valor del ángulo de fricción interna “ ϕ ” son:

Compacidad: Es el principal factor. Cuando mayor es la compacidad (o menor índice de vacíos), mayor es el esfuerzo necesario para romper la estructura de las partículas y, consecuente mente, mayor el valor de “ ϕ ”.

Granulometría: en las arenas bien graduadas las partículas menores ocupan los vacíos formados por las partículas mayores, conduciendo a una distribución más

estable, con mayor resistencia. Además de eso, las arenas más gruesas tienden a disponerse naturalmente en forma más compacta, debido al peso propio de cada partícula. Esto hace, en general, el valor de “ ϕ ” sea un poco mayor en las arenas gruesas y piedras.

Forma de las partículas: partículas más redondeadas ofrecen menos resistencia que las partículas más irregulares. Por lo tanto, estas últimas presentan “ ϕ ” mayor.

Contenido de humedad: la humedad del suelo tiene pequeña influencia en la resistencia de las arenas. Esto se debe al hecho del agua funcionar como un lubricante en los contactos entre las partículas, disminuyendo el valor de “ ϕ ”. Además de eso, cuando la arena está parcialmente saturada, surgen tensiones capilares entre las partículas, lo que provoca que aparezca una pequeña cohesión, llamada cohesión aparente. Por lo tanto esta cohesión desaparece cuando el suelo está saturado o seco.

- **Resistencia al corte de los suelos cohesivos**

El comportamiento al corte de los suelos arcillosos es mucho más complejo del presentado anteriormente para suelos granulares. Esto se debe al tamaño de las partículas que componen las arcillas. Se considera como arcilla la fracción de suelo compuesta por partículas de tamaño menor que 0.002mm. En estas condiciones, la superficie específica, definida como la relación entre la superficie total de todas las partículas y el volumen total del suelo, es mucho mayor en el caso de las arcillas. Esto hace que las fuerzas de superficie de naturaleza físico-químicas se toman preponderantes en el comportamiento del suelo.

Estas fuerzas dependen mucho de la distancia entre las partículas. Además, la resistencia al corte aumenta con la consolidación, cuando las partículas son aproximadas unas de las otras por efecto de una carga. Cuando esta carga es retirada, las fuerzas de superficie impiden el retorno de las partículas a la situación anterior y surge entonces la cohesión. La presencia de agua en los vacíos del arcilloso también influye en su resistencia. Esto se debe en parte al hecho que el agua provoca el apartamiento de las partículas, disminuyendo la cohesión.

Otra característica importante ligada a la presencia de agua, que influye en el comportamiento de los suelos arcillosos, es su baja permeabilidad. Mientras que en el comportamiento de los suelos arcillosos, es su baja permeabilidad. Mientras que en las arenas cualquier exceso de la presión de poros provocado por las cargas se disipa casi inmediatamente, en el caso de las arcillas esta disipación es mucho más lenta.

Además, la presión de poros originada por las cargas continua actuando después de terminada la construcción, por años. Se distinguen, por lo tanto, dos situaciones opuestas. La situación inmediatamente posterior a la aplicación de la carga, cuando poca o ninguna disipación de presión de poros ha existido, se la llama situación de corto plazo o no drenada y aquella de largo plazo o drenada, después de la total disipación de toda la presión de poros causada por las cargas.

El comportamiento del suelo en cada una de esas dos condiciones es diferente y el proyecto debe tener en cuenta esta diferencia. La envolvente de resistencia obtenida en este tipo de ensayo es denominada envolvente rápida “su”. Esta envolvente es utilizada en el análisis de situaciones de corto plazo cuando se admite que en el campo no ocurre disipación de la presión de poros ocasionada por la carga aplicada sobre el suelo. Además de eso, se admite también que el valor de la presión de poros que actúa en el campo es semejante a la que actúa en el ensayo rápido y, por lo tanto, no necesita ser determinada.

En el caso de suelos saturados, los ensayos rápidos conducen a una envolvente sin fricción del tipo:

$$S_U = c_U$$

Donde “ c_U ” es llamada cohesión no drenada. Esto ocurre por que el aumento de presión confinante no se traduce en un aumento de la resistencia del suelo ya que sin drenaje no ocurre consolidación y entonces el aumento del confinamiento es transferido para el agua y se traduce en un aumento igual de la presión de poros.

Para suelos parcialmente saturados hay un aumento de la resistencia con el aumento del confinamiento. Esto hace que la envolvente “su” presente una parte de fricción.

En general se considera que la situación de saturación completa es más crítica y, entonces, se desprecia esa fricción.

En el otro extremo, la situación a largo plazo está caracterizada por la disipación de toda la presión hidrostática causada por la carga. La envolvente de resistencia que representa esta situación es definida como envolvente efectiva “ τ ” y es utilizada para analizar situaciones en que toda la presión hidrostática causada por la carga se haya disipado. En este caso el análisis es hecho en términos de tensiones efectivas y es necesario determinar las presiones hidrostática causada por la capa freática, cuando se presente.

En arcilla normalmente consolidadas y saturadas la envolvente efectiva “ τ ” no presenta cohesión:

$$\tau' = \sigma' \cdot \tan \phi$$

Donde “ σ ” es la tensión normal efectiva “ ϕ ” es el ángulo de fricción efectivo del suelo.

La cohesión efectiva surge apenas en arcillas pre consolidadas, como efecto de la sobre densificación del suelo. Por presiones confinantes por debajo de la presión de pre consolidación, la resistencia al corte es superior a la de la arcilla normalmente consolidada. Se aproxima esta envolvente a una recta en un intervalo de tensiones de trabajo que incluye tensiones por debajo de la presión de pre consolidación, quedando la envolvente efectiva:

$$\tau = c' + \sigma' \cdot \phi'$$

- **Angulo de fricción**

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física.

Este ángulo depende de varios factores entre los cuales citaremos algunos de mayor importancia:

- Tamaño de los granos de suelo.
- Forma de los granos
- Distribución del tamaño de los granos
- Densidad

- **Cohesión**

La cohesión es una medida de la adherencia entre las partículas del suelo.

La cohesión se utiliza en la mecánica de suelos para representar la resistencia al cortante producida por la cementación, mientras que en la física este término es usado para representar la tensión.

En los suelos netamente granulares, en los cuales se puede decir que no existe ningún tipo de cementante, o más bien que no producen adherencia, el valor de la cohesión se puede suponer como igual a cero, y es a estos suelos que se les denomina suelos no cohesivos.

3.3. Modelos de análisis de Estabilidad de Taludes

Es práctica común en ingeniería definir la estabilidad de un talud en términos de un factor de seguridad (FS), obtenido de un análisis matemático de estabilidad. El modelo debe tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, cargas dinámicas por acción de sismos, flujo de agua, propiedades de los suelos, etc. Sin embargo, no todos los factores que afectan la estabilidad de un talud se pueden cuantificar para incluirlos en un modelo matemático. Por lo tanto, hay situaciones en las cuales un enfoque matemático no produce resultados satisfactorios. A pesar de las debilidades de un determinado modelo, determinar el factor de seguridad asumiendo superficies probables de falla, permite al Ingeniero tener una herramienta muy útil para la toma de decisiones.

Se pueden estudiar superficies planas, circulares, logarítmicas, parabólicas y combinaciones de ellas. La mayoría de los trabajos que aparecen en la literatura sobre el tema asumen que el suelo es un material isotrópico y han desarrollado métodos de análisis de superficies circulares o aproximadamente circulares principalmente. Sin embargo, el mecanismo de falla en materiales residuales, donde aparece el suelo, la roca meteorizada y la roca sana, así como formaciones aluviales y coluviales no isotrópicas requieren de nuevos enfoques y del estudio de superficies de falla no simétricas. En los últimos años se han desarrollado algunos

modelos de superficies de falla con forma no geométrica, pero se requiere todavía de un gran esfuerzo de investigación en este tema.

3.4. 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 supone 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.

El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. Cada día se han mejorado los sistemas de Dovelas desarrollados a inicios del siglo XX y existe Software muy fácil de utilizar. Generalmente, los métodos son de iteración y cada uno de los métodos posee un cierto grado de precisión.

Tabla 10

| Método | Superficies de Falla | Equilibrio | Características |
|--------------------------|----------------------|-------------|--|
| Ordinario o de Fellenius | 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 | Circulares | De Momentos | Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobredeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela. |

| | | | |
|---------------------|---|--------------------|--|
| Janbú Simplificado | Cualquier forma de la superficie de falla | De Fuerzas | Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobredeterminada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección F_0 para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos. |
| Sueco Modificado. | Cualquier forma de la superficie de falla | De Fuerzas | Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos. |
| Spencer | 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. |
| Morgenstern y Price | Cualquier forma de la superficie de falla | Momentos y Fuerzas | Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria. |
| Sarma | Cualquier forma de la superficie de falla | Momentos y Fuerzas | Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad. El factor de seguridad estático corresponde al caso de cero coeficiente sísmico. Satisface todas las condiciones de equilibrio; sin embargo, la superficie de falla correspondiente es muy diferente a la determinada utilizando otros procedimientos más convencionales. |

| | | | |
|---------------------|---|-----------------------------------|--|
| 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. |
| Espiral Logarítmica | Espiral Logarítmica | Momentos y Fuerzas | Existen diferentes métodos con diversas condiciones de equilibrio |

Métodos de Estabilidad

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

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:

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

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.

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

3.5.Métodos para Estabilidad de Taludes

El análisis de la estabilidad de un talud es un proceso de tanteos, con suposiciones de las condiciones más críticas que en un momento dado se pueden presentar.

En términos generales, los pasos a seguir son:

1. Se supone una superficie de falla, la cual puede ser por:

- El pie del talud
- La base del talud
- El talud

Después de haber hecho esto se habrá determinado:

- Una masa deslizando
- Una superficie de deslizamiento

Al haber definido la masa deslizando, se podrá calcular las fuerzas que producen el deslizamiento, llamadas también fuerzas motoras.

Al haber definido la superficie de falla se podrá calcular las fuerzas que se oponen al deslizamiento, llamadas también fuerzas resistentes.

2. Calcular los momentos:

- Momentos resistentes
- Momentos Motores o Deslizantes.

3. Calcular el factor de seguridad (F.S) para la superficie de falla dada

- Si la falla es del tipo translacional, el F.S. resulta de comparar las fuerzas:

$$F.S. = \frac{\sum \text{Fzas Resistentes}}{\sum \text{Fzas Deslizantes.}}$$

- Si la falla es del tipo rotacional, el F.S. resulta de comparar los momentos.

$$F.S. = \frac{\sum \text{Mtos. Resistentes}}{\text{Mtos. Deslizantes}}$$

El F.S. hallado es para la superficie de falla, asumida y no necesariamente es el F.S. del talud.

Al repetir los pasos anteriores para otras superficies de falla, se obtendrá un F.S. mínimo el cual corresponde al del talud.

Métodos para falla circular

Son métodos que pueden aplicarse a suelos cohesivos y a suelos cohesivo-friccionantes y cuyos parámetros de resistencia están dados por pruebas UU, CU, CD. En estos métodos se asume una superficie de falla de forma circular y el equilibrio se establece en relación a la suma de momentos, entre los cuales se encuentran la siguiente.

Método Dovelas o Tajadas

Existen varios métodos en los cuales se recurre a dividir la masa potencialmente deslizable en un número de secciones verticales o tajadas para analizar el sistema de fuerzas que contribuyen al equilibrio.

Estos métodos tienen la ventaja que permiten considerar materiales heterogéneos y analizar cualquier superficie de falla.

Entre las soluciones simplificadas que utilizan este método, se encuentran las siguientes:

- Método convencional, USBR o de Falleius
- Método de Bishop simplificado
- Método de Jambú
- Método de Kenney

Entre las soluciones rigurosas vale la pena mencionar los siguientes:

- Método de Morgenstern y Price
- Método de Sarma

3.5.1. Método de Fellenius

Es conveniente utilizar éste método cuando la resistencia al esfuerzo cortante del suelo es función de los esfuerzos normales o sea:

$$T = C + \arctan \phi$$

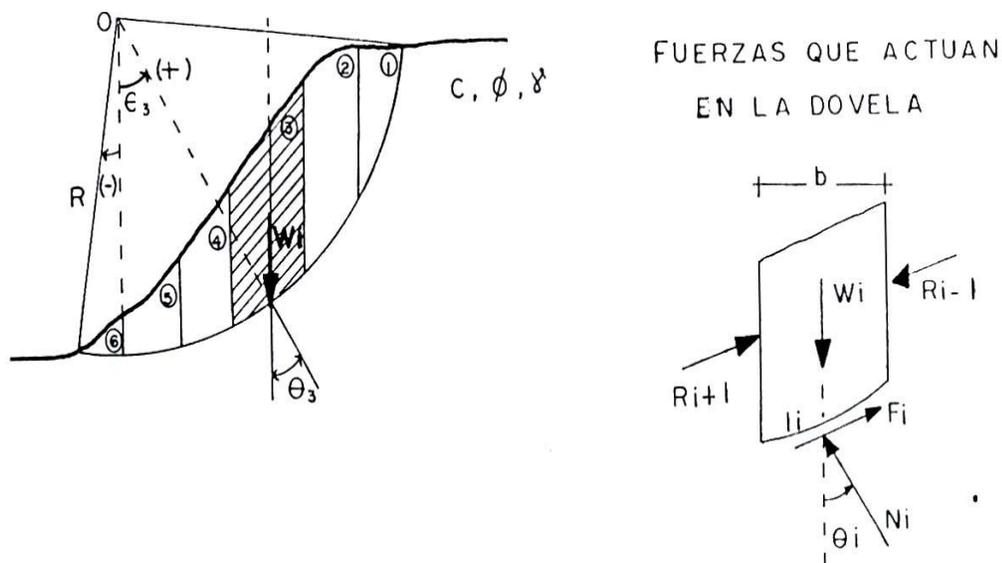
Consiste en:

Darse una superficie de falla circular

1. Dividir la zona de falla en una serie de franjas verticales o dovelas de cualquier espesor.
2. Determinar las fuerzas que actúan en cada dovela.
3. Calcular los momentos resistentes y los momentos motores que actúan a lo largo de la superficie de falla.
4. Calcular el F.S. para un suelo cuya resistencia está dada por la siguiente expresión:

$$T = C + \arctan \phi \text{ (o sea con esfuerzos totales) } \sin N.F.$$

Figura 12



Fuerzas que actúan en la dovela.

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

Dónde:

b = ancho de dovela,

l_i = arco de la dovela

θ_i = ángulo que forma la vertical que pasa por el centro de gravedad de cada dovela y la normal a la base de la dovela, puede ser (+) o (-).

W_i = peso de cada dovela.

R_{i-1} y R_{i+1} = Fuerzas laterales de las dovelas Colindantes

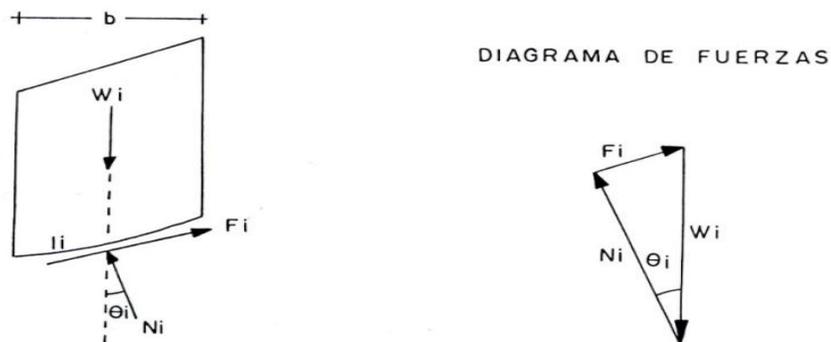
F_i = Fuerzas tangenciales en la base de la dovela

N_i = Fuerzas normales en la base de la dovela.

Este método asume que:

Las fuerzas R_{i-1} y R_{i+1} se convierten en reacciones interiores cuando se pasa de una dovela a otra y por lo tanto la suma de momentos de estas fuerzas es nula, Pues al sumar los momentos producidos por estas fuerzas, lo único que queda son las reacciones para los puntos extremos (primera y última dovela) donde la altura de cada dovela es nula, con lo que resulta valores nulos.

Figura 13



Fuerzas a considerar por Fellenius

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

W_i - Conocida en magnitud y dirección

N_i = Conocida en dirección y desconocida en magnitud

F_i = Conocida en dirección y desconocida en magnitud

Cálculo de Momentos:

$$MR = \sum R.F_i = R \sum (C_i.l_i + N_i \cdot \tan \theta)$$

$$N_i = W_i \cdot \cos \theta_i$$

$$MR = R \sum (C_i.l_i + W_i \cos \theta_i \tan \theta)$$

$$\frac{F.S. = MR}{M_m} = \frac{(C_i \cdot l_i + W_i \cdot \cos \theta_i \tan \theta)}{\sum W_i \cdot \sin \theta_i}$$

Observaciones a esta ecuación:

1. Para facilitar los cálculos y poderlos tabular se sustituye:

$$l_i = b / \cos \theta$$

2. El momento resistente depende de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo y se desarrolla en la base de las dovelas y tiene siempre dirección contraria al movimiento; la suma que se hace es aritmética.
3. En cuanto al momento motor, existen dovelas que dan momentos estabilizantes y desestabilizantes; por lo tanto, la suma es algebraica.
4. Se aconseja tomar de 8 a 12 dovelas como máximo, para obtener un resultado satisfactorio.
5. El F.S. calculado es para el círculo asumido y no es el del talud.

3.5.2. Método de Janbu.

Los métodos de Bishop y Fellenius están basados fundamentalmente en la ecuación del equilibrio de momentos, y no cumplen (no pueden cumplir) la ecuación del equilibrio horizontal. Hay casos en los que esta ecuación parece intuitivamente más importante que la del equilibrio de momentos, como en el caso de reptaciones o de deslizamientos bastante planos. Con esas ideas, Janbu (1955) Propuso un método aplicable a líneas de deslizamiento de

cualquier tipo (no necesita un centro de círculo para tomar momentos), que está basado en satisfacer el equilibrio horizontal y vertical. Como estas dos condiciones no son suficientes para calcular el coeficiente de seguridad, resulta una expresión de este que además de ser implícita con el método de Bishop, contiene una serie de fuerzas desconocidas que son los esfuerzos tangenciales en las caras verticales de las rebanadas.

En forma similar a Bishop, Janbu propuso hacer un primer cálculo suponiendo que estas fuerzas fuesen nulas y dio ciertos criterios para obtenerlas en una segunda aproximación. Tal criterio es, evidentemente, tratar de cumplir la ecuación de equilibrio de momentos que hasta aquí no se había planteado. Para cumplir la ecuación de equilibrio de momentos, Janbu recomendó suponer que las fuerzas entre rebanadas actuaban aproximadamente a un tercio de la altura. Así, fijando una cierta línea de actuación de los empujes. Se podría escribir la ecuación de equilibrio de momentos que deberían satisfacer las fuerzas tangenciales entre rebanadas. Igual que el método de Bishop, el método de Janbu no tiene solución matemática exacta. Ambos tienen soluciones ingenieriles aproximadas que no actúan el equilibrio horizontal (Bishop) o el equilibrio de momentos (Janbu).

La forma de análisis es semejante a la Bishop, resultando la siguiente ecuación del factor de seguridad

$$F.S. = \frac{\sum \left[C \cdot b + (W - ub) \tan \phi \frac{1}{\cos \alpha * m_a} \right]}{\sum W \cdot \tan \alpha}$$

b = Ancho de la Dovela

W = Peso de cada dovela

C_i, ϕ = Parámetros de resistencia del suelo cohesión y ángulo de fricción.

α = Angulo del radio y la vertical en cada dovela.

Janbu ha sugerido además que este método tiende a subestimar el factor de seguridad hasta 13% cuando aumenta la relación entre la profundidad y la longitud de la masa en deslizamiento Fig.3.5.2.3 Así, si se usa la gráfica de la Fig.3.5.2.3 Se debe aplicar un factor de corrección $F_{\text{correctado}} = f_0 F_s$. Donde f_0 depende de la curvatura de la superficie de falla.

Figura 14

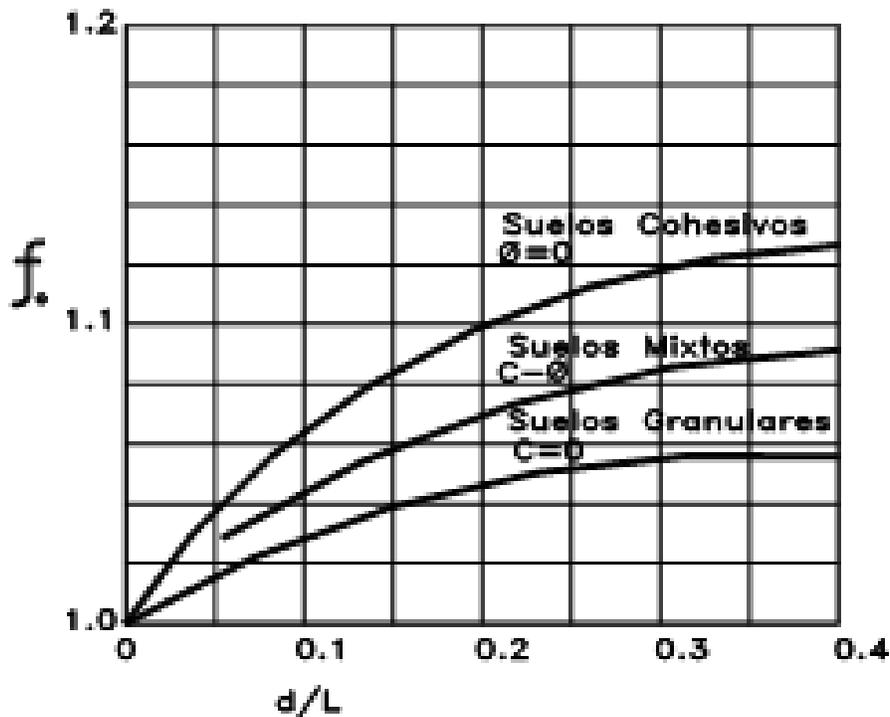
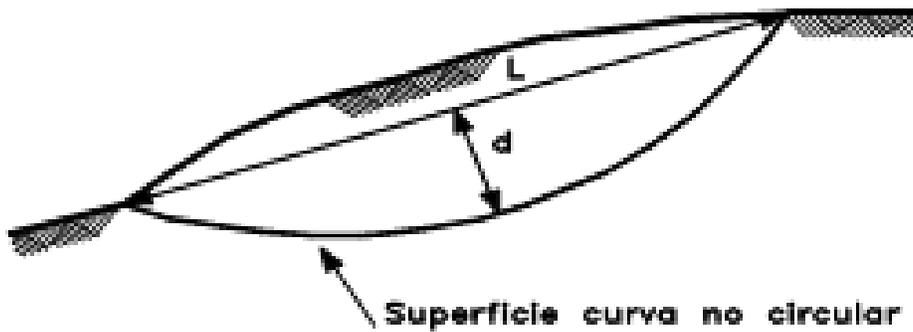


Diagrama para determinar el factor f_0 para el método de Janbu

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

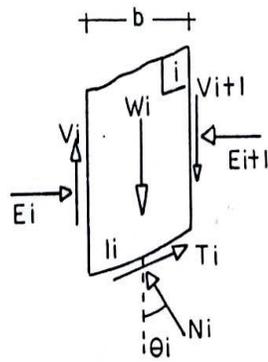
3.5.3. Método de Bishop Modificado

Para superficie de falla circular, se siguen los mismos pasos del método de Fellenius.

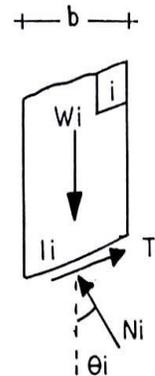
Este método supone que las fuerzas que actúan en las caras laterales de una dovela, tienen una resultante nula en la dirección o sea que $\sum (V_n - V_{n-1}) = 0$, con lo cual elimina correctamente las fuerzas E_i , en general mucho más importante que las fuerzas V_i .

Figura 15

Fuerzas que actúan en una dovela



Fuerzas que actúan según Bishop modificado



Fuerzas que actúan según Bishop modificado

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

Dónde:

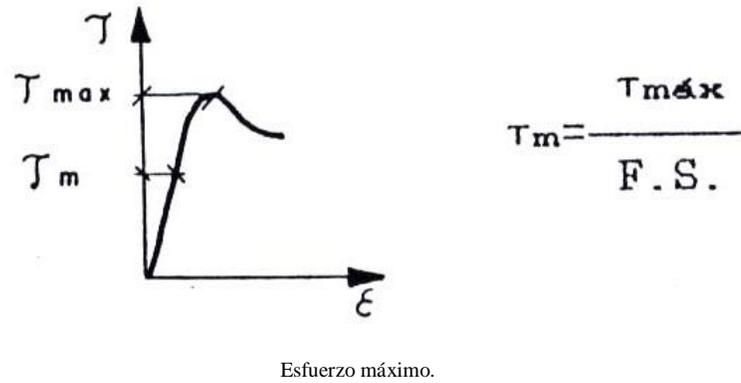
W_i = Peso de la dovela

N_i = Fuerza normal a la base de la dovela

T_i = Fuerza resistente que está actuando en el momento del análisis

$$T_i = \frac{T}{F.S.}$$

Figura 16



Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

Para el equilibrio de la masa se debe cumplir que.

$$\sum F_v = 0$$

$$\sum M_o = 0$$

Después de hacer equilibrio de fuerzas y de momentos se llega a la siguiente expresión:

$$F.S. = \frac{\sum(C_i b + W_i \tan\phi) / \left(\cos\theta_i + \text{sen}\theta_i * \frac{\tan\phi}{F.S.}\right)}{\sum(W_i \text{sen}\theta)}$$

$$M\theta_i = \cos\theta_i + \text{sen}\theta_i \frac{\tan\phi}{F.S.}$$

$$F.S. = \frac{\sum(C_i b + W_i \tan\phi) / M\theta_i}{\sum W_i \text{sen}\theta_i}$$

Dónde:

Ci = Cohesión en la base de la dovela

b = Ancho de la dovela

W_i = Peso de la dovela (γ)

θ_i = Ángulo que forma la vertical y la normal en el centro de gravedad de la base de la dovela y puede ser (+) o (-)

Nota: Esta ecuación da un F.S. para un cálculo tentativo, debe resolverse por un proceso interactivo, debido a que el F.S. está en ambos lados de la ecuación, pero su convergencia es rápida, cuando el talud está parcialmente sumergido y hay flujo de agua.

$$\text{F.S.} = \frac{\sum [C_i b + (W_1 + W - u_i b) \tan \phi] / M \theta_i}{\sum (W_1 + W) \sin \theta_i}$$

Dónde:

W_1 = Peso de la dovela situada por encima del N.E.A. se calcula con γ .

W = Peso de la dovela situada por debajo del N.E.A., se calcula con

$$\gamma = \gamma - \gamma_w$$

Exceso de la presión de poros, se presenta cuando hay flujo de agua y se mide por medio de la red de flujo o con un piezómetro.

4. CAPITULO IV – APLICACIÓN PRACTICA

Para encontrar las causas y mecanismos de falla y poder cuantificar los parámetros que determinan la estabilidad de un talud, diagnosticar y diseñar las obras de estabilización se recomienda realizar un estudio que incluye:

4.1 Reconocimiento e Identificación del Sitio

Cercado es una de las 6 provincias en que se divide el departamento de Tarija, Bolivia. Está ubicada en el centro-oeste del departamento. Limita al noroeste con Méndez, al este con Burdet O'Connor, al sur con Arce y al suroeste con Avilez. Su capital es Tarija, que también lo es de todo el departamento.

Coordenadas:  21°31'54"S64°43'52"O / -21.53167, -64.73111.

Clima

El clima de la ciudad de Tarija y el valle en la que se encuentra es llamado "paraíso de la primavera", ya que predomina durante la mayor parte del año un clima templado o mesotérmico, sin embargo durante los inviernos (especialmente durante el mes de julio) la temperatura suele bajar del 0° C llegando a disminuciones térmicas increíbles para la latitud y altitud (la zona es en los mapas "tropical"): todos los inviernos son fríos; por ejemplo en 1966 se registró en esta ciudad una temperatura absoluta de -9,5°C (nueve grados y medio bajo cero) y el 20 de julio de 2010 en la misma ciudad de San Bernardo de Tarija la temperatura bajó a - 9, 2°C (nueve grados con dos centésimas bajo cero) acompañada tal temperatura por copiosas nevadas.

Administración

La ciudad de Tarija es capital de la Provincia Cercado, conformando todo su territorio el Municipio de Tarija. El mismo que se rige por un gobierno municipal, compuesto por el Ejecutivo Municipal, cuyo nombre oficial es Honorable Alcaldía Municipal y un legislativo municipal o concejo deliberante, siendo su nombre oficial Honorable Concejo Municipal.

El Honorable Alcalde Municipal por la Gestión 2010–2015 es Oscar Gerardo Montes Barzón y el Presidente del Concejo Deliberativo es Rodrigo Paz Pereira.

Actualmente el Barrio Luis Pizarro sigue siendo el mismo de hace varios años, los taludes en estudio en este tramo son suelos que cuentan con cierta vegetación, su suelo por lo general es arcilloso y su topografía es con pendientes elevadas.

4.2 Características del área de estudio

La Ubicación Geográfica de la zona del proyecto nos muestra una topografía accidentada, con cierta vegetación, donde se evidencia diferentes tipos de suelos, semiduros y duros.

Fotografía N° 1



Talud de pendiente elevada con poca vegetación.

Fotografía N° 2



Talud inestable que presenta desprendimiento.

Fotografía N° 4



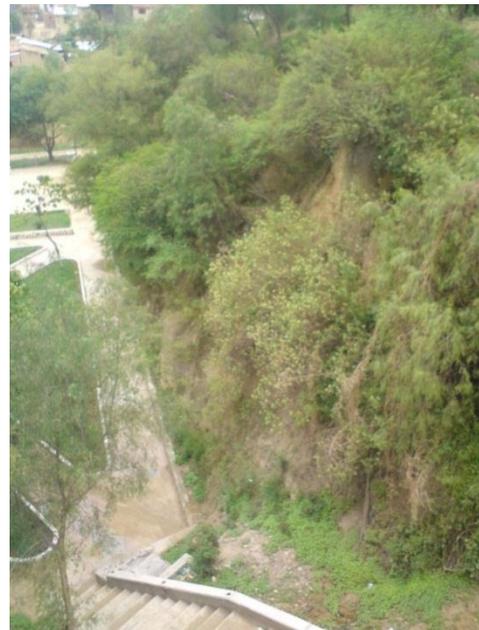
Taludes de estudio

Fotografía N° 3



Talud que muestra fisuración debido a la erosión .

Fotografía N° 5



Talud en estudio próximo a la Plazuela Luis Pizarro.

4.3 Trabajo de Campo

El trabajo de campo es el más costoso y el que mejor información puede proveer para un análisis detallado conjuntamente con el del laboratorio. En contraste, el análisis de la información y modelación es más económico.

El trabajo de campo consiste principalmente en la inspección visual de las características de la zona de estudio para la identificación de los diferentes taludes o laderas a lo largo del recorrido y posteriormente la selección de los puntos con riesgo de falla o deslizamiento. Además de recoger la recolección fotográfica, información básica sobre el terreno que es la selección de muestras, también el levantamiento y estudio topográfico, vegetación y toda la información sobre los suelos para su posterior análisis en laboratorio.

- Levantamiento Topográfico

Se pudo realizar el levantamiento Topográfico del lugar con Estación Total y GPS, para poder geo referenciar nuestro talud. El levantamiento tuvo sus contratiempos, como el acceso al terreno por la vegetación y la pronunciada pendiente del lugar. Finalmente se pudo realizar el levantamiento, puesto que son datos imprescindibles para la realización del proyecto como ser: la altura, largo e inclinación del talud.

- Selección de Muestras

Para el desarrollo del proyecto se realizó el muestreo de la siguiente manera:

- **Muestras alteradas**

Estas las utilizaremos para ensayos de clasificación de los suelos y peso específico. Se las recogió del talud en estudio en fragmentos pequeños para luego desmenuzarlos y posteriormente trabajarlos.

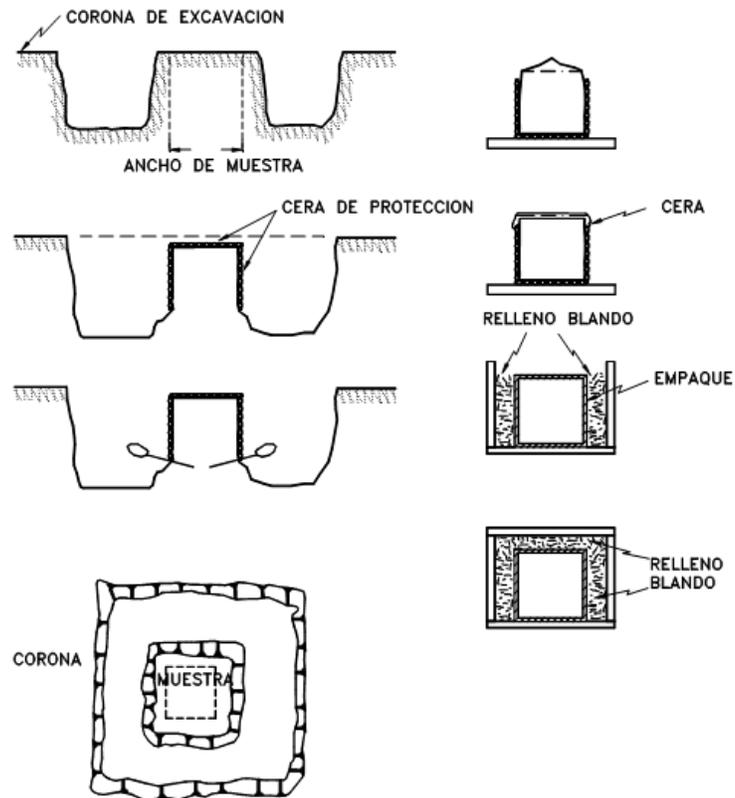
- **Muestras inalteradas**

Aunque las muestras totalmente inalteradas no es posible obtenerlas, existen métodos para minimizar el grado de alteración. Estas muestras las utilizaremos para realizar ensayos de Resistencia y Compresibilidad y

determinar las propiedades de los suelos (peso específico natural, cohesión y ángulo de fricción interna).

Se realizó la extracción de muestras inalteradas del núcleo del talud de falla para posteriormente tallarlos y realizar los respectivos ensayos.

Figura 19



Toma de muestras inalteradas en apique

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

Se realizó la extracción de muestras inalteradas del núcleo del talud de falla para posteriormente tallarlos y realizar los respectivos ensayos.

- **Recolección fotográfica**

Procedimos a realizar la recolección fotográfica del lugar para poder corroborar el estado del talud y el riesgo que significa para la población del lugar y así dar una viabilidad al proyecto. También para dar fe del levantamiento realizado y el tipo de suelo por el que está conformado.

Toda esta evidencia fotográfica se la muestra a detalle el Anexos.

- **Identificación de Puntos de Estudio**

TALUD "A".-

Se encuentra ubicado en la margen derecha del acceso vial a la plazuela, visualmente se puede decir que el material de este talud está conformado por un suelo con arcilla fina y limo, sin presencia de material grueso y con cierto tipo de vegetación, también se pueden identificar agrietamientos verticales debido a las precipitaciones que provocaron desprendimientos del talud. Con estos factores podemos definir que se trata de un talud inestable con un alto riesgo de deslizamiento.

Fotografía N° 6



Talud A. Acceso vial a la Plazuela Luis Pizarro

TALUD "B".-

Este talud se encuentra ubicado en la margen derecha de la plazuela Luis Pizarro. Es un talud conformado por un suelo de color claro, se podría identificar como suelo arcilloso, también cuenta con agrietamientos verticales y tiene una altura considerable, es considerado un punto inestable por la facilidad con la que se desprende con la presencia de agua.

Fotografía N° 7



Talud B. Frente a la Plazuela Luis Pizarro.

TALUD "C".-

Este talud se encuentra ubicado en la margen derecha de la cancha multifuncional Luis Pizarro. Se puede ver que cuenta con cierto tipo de vegetación en la corona del talud, también es un suelo arcilloso con altura considerable y pendiente elevada.

Fotografía N° 8



Talud C. Comienzo de la cancha de Luis Pizarro.

4.4 Análisis de las Muestras en Laboratorio

El análisis de las diferentes muestras se las realizo en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, en el que se realizaron los siguientes ensayos:

Clasificación de suelos.

- Granulometría.

Se llama granulometría o análisis granulométrico a la determinación de la distribución de las partículas de un suelo en cuanto a su tamaño; se hace por proceso de tamizado (tamices) en suelos de grano grueso, y por un proceso de sedimentación en agua o por el método del lavado en suelos de grano fino. Cuando se usan ambos procesos, el ensayo se llama análisis granulométrico combinado.

En la elaboración del proyecto se realizó la granulometría por el método del lavado ya que se cuenta con un alto porcentaje de material fino.

| Tamices | Tamaño |
|---------|--------|
| | (mm) |
| Nº10 | 2,00 |
| Nº40 | 0,425 |
| Nº200 | 0,075 |

Serie de tamices de laboratorio

Fuente: Laboratorio de Suelos y Hormigones UAJMS

Fotografía N° 9



Serie de tamices de laboratorio

Fotografía N° 10



Equipo para granulometría de finos

- **Límites de Atterberg.**

El límite líquido (LL) de un suelo se define como el contenido máximo de humedad a partir del cual dicho suelo deja de comportarse plásticamente y pasa a comportarse como un líquido. Es el contenido de agua del material en el límite superior de su estado plástico.

El límite plástico (LP) de un suelo es el contenido de humedad correspondiente a un límite convencional entre los estados de consistencia plástico y semisólido. Es el contenido de agua del material, en el límite inferior de su estado plástico.

Fotografía N° 11



Equipo necesario para el desarrollo de Limite Liquido

Fotografía N° 12



Equipo necesario para el desarrollo de Limite Plástico.

- **Peso específico relativo de los suelos.**

El peso específico es una característica de los materiales, tanto líquidos como sólidos.

El peso específico relativo de los sólidos se determina en laboratorio haciendo uso de un frasco con marca de enrase. Este se determina mediante la siguiente formula.

$$\gamma = W_0 / (W_0 + W_2 - W_1)$$

Dónde:

γ = Peso específico relativo del suelo

W_0 = peso de la muestra de suelo seco

W_2 = Peso del frasco + agua

W_1 = Peso del frasco + agua + suelo

Fotografía N° 13



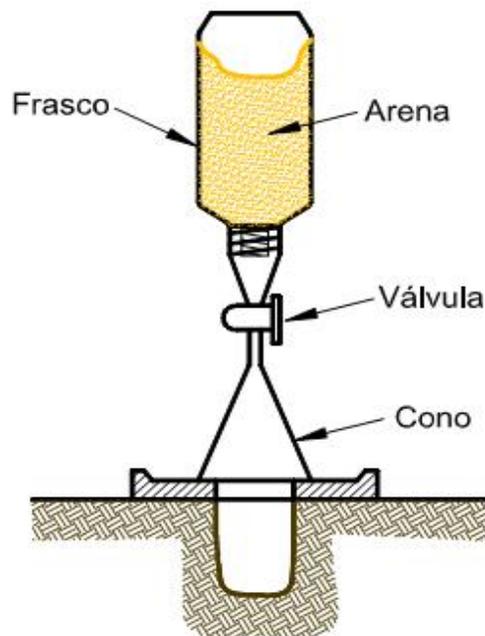
Equipo necesario para la realización del ensayo de Peso Especifico

- **Peso Especifico (Densidad In Situ)**

El objetivo es determinar la densidad y humedad en el sitio de un suelo natural o compactado, a través del uso de equipo calibrado y arena con densidad conocida.

Para la calibración del frasco volumétrico lo realizamos con agua a temperatura constante, y así determinamos el volumen del equipo.

La calibración de la arena se debe llenar el frasco con arena y posteriormente pesarlo, seguido se calcula la densidad de la arena dividiendo el peso de arena entre el volumen del frasco.



Limpiamos el sitio de estudio, en este caso tuvimos que realizar una abertura en el núcleo del talud y posteriormente formar una camada horizontal, para luego instalar la placa base.

Excavamos un hoyo de 15cm. De profundidad y el material que se extrae se lo guarda en una bolsa para evitar perder humedad.

Luego se ajusta la llave de paso, se vuelca el equipo y se instala sobre la placa, seguidamente abrimos la llave y dejar caer la arena hasta que el hueco y cono se llenen.

Se procede a cerrar el cono para después pesar el equipo con el saldo de arena que queda después del ensayo.

Fotografía N° 14



Desarrollo del ensayo de Peso Especifico In Situ.

Fotografía N° 15



Desarrollo del ensayo de Peso Especifico In Situ.

- **Compresión no confinada (Angulo de fricción y Cohesión).**

Tiene por finalidad, determinar la resistencia a la compresión no confinada (q_u), de un cilindro de suelo cohesivo o semi-cohesivo, e indirectamente la resistencia al corte (c), por la expresión:

$$c = q_u / 2 \quad (\text{kgs/cm}^2)$$

Este cálculo se basa en el hecho de que el esfuerzo principal menor es cero (ya que al suelo lo rodea sólo la presión atmosférica) y que el ángulo de fricción interna (ϕ) del suelo se supone cero.

Este ensayo es ampliamente utilizado, ya que constituye un método rápido y económico. Consiste en un ensayo uniaxial, en donde la probeta no tiene soporte lateral ($\sigma_3 = 0$).

- ◆ Para este ensayo se obtuvieron muestras inalteradas que no presenten rajaduras ni desperfectos, ya que afectarían en su lectura, Posteriormente se procede al tallado de la muestra llevándolo a una forma geométrica similar a la del proctor T-99. Una vez obtenida las muestras se procede con la respectiva rotura mediante el gato hidráulico al igual que las muestras alteradas

Fotografía N° 16



Bloque inalterado sometido a compresión por el gato hidráulico

Fotografía N° 17



Rotura de muestra inalterada

Cálculos y nomenclatura.

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

- Calcular el diámetro (D) de la probeta:

$$D = (d_i + 2 * d_m + d_s) / 4 \quad (\text{cm})$$

Donde:

d_i = diámetro inferior (cm.)

d_m = diámetro medio (cm.)

d_s = diámetro superior (cm.)

- Calcular el área (A) de la probeta: $A = \pi * (D/2)^2 \quad (\text{cm}^2)$

- Calcular el volumen (V): $V = A * L_o \quad (\text{cm}^3)$

- Calcular el esfuerzo de compresión no confinada (σ_c) para cada unidad de área, mediante la siguiente expresión:

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

donde: P = carga aplicada (kgs.)

Calcular la resistencia al corte o cohesión (c) del suelo:

$$c = q_u / 2 \quad (\text{kgs/cm}^2)$$

donde:

q_u = máximo esfuerzo de compresión no confinada (kgs/cm²)

4.5 Trabajo de Gabinete

En este punto se realizó el análisis profundo de todos los ensayos realizados en el laboratorio, en este trabajo de gabinete se realizaron todas las observaciones y cálculos correspondientes para obtener los resultados de los diferentes ensayos.

⇒ Investigación de laboratorio

Los cálculos de los diferentes ensayos realizados en laboratorio, se muestran en las distintas planillas específicas para cada uno de los mismos. Este detalle es el que se muestra en la parte de anexos.

⇒ Resultados

Las muestras de los taludes de acuerdo al estudio realizado, tienen la siguiente clasificación:

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

| Nº Muestra | Clasificación SUCS | Clasificación AASHTO |
|------------|--------------------|----------------------|
| Talud "A" | CL | A-6(10) |
| Talud "B" | CL | A-6(8) |
| Talud "C" | CL | A-6(10) |

Los resultados del ensayo de peso específico relativo realizado en laboratorio, con las muestras extraída del talud en estudio, es el que se muestra a continuación:

PESO ESPECÍFICO RELATIVO

| N° Muestra | Peso Específico Relativo (grs/cm³) | Peso Específico Natural (grs/cm³) |
|-------------------|--|---|
| Talud "A" | 1.997 | 1.62 |
| Talud "B" | 1.942 | 1.63 |
| Talud "C" | 2.002 | 1.69 |

Los resultados de los ensayos de límites de Atterberg realizado en laboratorio, se muestra en el cuadro siguiente:

LIMITES DE ATTERBERG

| N° Muestra | Limite liquido | Limite Plástico | Índice de Plasticidad |
|-------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------|
| Talud "A" | 39.99 | 24.57 | 15,42 |
| Talud "B" | 37.58 | 25.78 | 11,8 |
| Talud "C" | 39.44 | 24.74 | 14,7 |

RESUMEN GENERAL DE LOS PUNTOS DE ESTUDIO

| MUESTRA | Clasificación | Clasificación | P.E. relativo | P.E. Natural | Angulo de Fricción | Cohesión inalterada |
|-----------|---------------|---------------|------------------------|------------------------|--------------------|-----------------------|
| | SUCS | AASHTO | (grs/cm ³) | (grs/cm ³) | (°) | (Kg/cm ²) |
| Talud "A" | CL | A-6(10) | 1.997 | 1.62 | 0 | 0,26 |
| Talud "B" | CL | A-6(8) | 1.942 | 1.63 | 0 | 0,25 |
| Talud "C" | CL | A-6(10) | 2.002 | 1.69 | 0 | 0,26 |

4.6 Análisis de la información obtenida, modelación matemática y diseño.

4.6.1 Escogencia de los Métodos de Diseño

Los métodos más utilizados por los ingenieros geotécnicos en todo el mundo son los simplificados de Bishop y de Janbú, los cuales en su concepción teórica no satisfacen equilibrios de fuerzas o de momentos.

Los métodos que satisfacen en forma más completa el equilibrio son más complejos y requieren de un mejor nivel de comprensión del sistema de análisis. En los métodos más complejos y precisos se presentan con frecuencia problemas numéricos que conducen a valores no realísticos de FS. Por las razones anteriores se prefieren métodos más sencillos pero más fáciles de manejar como son los métodos simplificados de Bishop o de Janbú.

En este trabajo tomaremos en cuenta dos métodos de diseño que son el método de JAMBU Y BISHOP, por ser los más aconsejables debido a los valores y variables que se toman en cuenta.

4.6.2 Parámetros de Diseño

Una vez escogidos los métodos de diseño se necesitarán para cada uno de los taludes seleccionados conocer los parámetros, por lo tanto es necesario conocer la pendiente del talud, su altura, su longitud y las características físicas típicas de los suelos que los conforman, como ser peso específico, ángulo de fricción, y cohesión. Estos parámetros son completamente medibles y los realizamos en el trabajo de gabinete. Estos son de gran importancia para la selección de una solución debido a que en función a estos se podrá aplicar a los métodos de estabilización de taludes y solución de protección o una planificación de una obra de estabilidad.

También, además de los parámetros, es importante determinar los factores que influyen en la inestabilidad un talud.

En este caso podemos concluir:

Factor Agua

El agua es uno de los factores más negativos que intervienen en las fallas de los taludes sobre todo de las zonas tropicales y en periodos lluviosos.

La erosión hídrica es otro fenómeno ocasionado por el agua y sus fuerzas hidráulicas las cuales producen el desprendimiento, transporte y depósito de los materiales de suelo por la acción del agua en movimiento, si la velocidad de escorrentía es mayor que la velocidad máxima erosionante se produce una erosión superficial, esta velocidad de escorrentía depende de factores como la pendiente, intensidad de la lluvia, cantidad de agua presente y rugosidad de la superficie del terreno.

Estos son algunos de los efectos negativos del agua que están presentes en el talud de estudio, efectos que debemos conocer por ser uno de los principales factores de falla o deslizamiento

Una vez identificados los factores que influyen en la inestabilidad del talud, procedemos a comparar los resultados obtenidos en laboratorio con los resultados que se encuentran en tablas y ábacos, a fin de cerciorarse de que los resultados sean

coherentes y no se disparen para posteriormente poder realizar el cálculo correspondiente.

Tabla 11

| SÍMBOLO | TIPO DE SUELO | CAPACIDAD DE CARGA | RIESGO DE ASIENTOS | MODIFICACIÓN DE RESISTENCIA POR CAMBIOS DE HUMEDAD | COMPACTABILIDAD | RIESGO DE DESLIZAMIENTO DE TALUDES |
|---------|-------------------------------|--------------------|--------------------|--|-----------------|------------------------------------|
| GW | Gravas limpias bien graduadas | Muy alta | Bajísimo | Muy baja | Muy buena | Muy bajo |
| GP | Gravas limpias mal graduadas | Alta | Muy bajo | Muy baja | Buena | Bajo |
| SW | Arenas limpias bien graduadas | Muy alta | Bajísimo | Muy baja | Muy buena | Muy bajo |
| SP | Arenas limpias mal graduadas | Alta | Muy bajo | Muy baja | Buena | Bajo |
| GC | Gravas arcillosas | Alta | Bajo | Baja a media | Buena a media | Muy bajo |
| SC | Arenas arcillosas | Alta o media | Bajo | Baja a media | Buena a media | Bajo |
| GM | Gravas limosas | Alta | Bajo | Baja | Media | Bajo |
| SM | Arenas limosas | Alta a media | Bajo | Baja | Media | Bajo a medio |
| ML | Limos de baja plasticidad | Media a baja | Medio | Media a alta | Mala | Medio |
| CL | Arcillas de baja plasticidad | Baja | Medio | Media a alta | Media a mala | Medio a alto |
| MH | Limos de alta plasticidad | Baja | Alto | Alta | Muy mala | Medio a alto |
| CH | Arcillas de alta plasticidad | Muy baja | Muy alto | Alta | Mala | Alto |
| O | Suelos orgánicos | Bajísima | Altísimo | Altísima | Muy mala | - |

Características de los principales tipos de suelos en cuanto a amplitud para cimientos o para formar parte de terraplenes
Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Braja M Das. Cuarta Edición

Con esta tabla podemos concluir que nuestro suelo tiene baja capacidad de cargas y el riesgo de deslizamiento de taludes es de medio a alto.

Tabla 12

| CONSISTENCIA | IDENTIFICACIÓN EN CAMPO | COHESIÓN kg / cm ² |
|--------------|--|----------------------------------|
| Muy blanda | Fácilmente penetrable varios cms. con el puño | < 0.125 |
| Blanda | Fácilmente penetrable varios cms. con el pulgar | 0.125-0.25 |
| Media | Se requiere un esfuerzo moderado para penetrarlo varios cms. con el pulgar | 0.25-0.5 |
| Rígida | Indentable fácilmente con el pulgar | 0.5-1 |
| Muy rígida | Indentable fácilmente con la uña del pulgar | 1-2 |
| Dura | Difícil de indentar con la uña del pulgar | 2 |

Valores de la cohesión para arcillas según su consistencia

Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Braja M Das. Cuarta Edición

Tabla 13

| Suelo | Peso unitario (kN/m ³) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Granito descompuesto | 16 - 21 |
| Materiales volcánicos descompuestos | 16 - 21 |
| Coluviones (matríz) | 15 - 21 |
| Suelos arenarcillosos | 16 - 21 |
| Suelos arcillosos | 15 - 18 |

Valores típicos de parámetros geotécnicos en suelos in situ.

Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Braja M Das. Cuarta Edición

Con estas tablas identificaremos los rangos en que generalmente se encuentran los suelos CL, que es con el que contamos.

Con nuestros valores obtenidos en Laboratorio se pueden comprobar nuestros resultados de Peso específico y la cohesión, lo cual nos da paso libre para la realización del proyecto.

4.6.3 Escogencia del Factor de Seguridad

Otra decisión que se afronta es la determinación del factor de seguridad que se debe adoptar, porque no son los mismos factores que se usan en todos los casos, estos varían de acuerdo al factor de riesgo de pérdidas humanas, económicas e incluso de tipo de obras que se emplazaran en el sitio de estudio. Una idea general de los factores a emplear permite recomendar los siguientes factores de seguridad mínimos:

Tabla 14

| Caso | Factor de Seguridad |
|---|---------------------|
| Si puede ocurrir la perdida de vidas humanas al fallar el talud | 1,7 |
| Si la falla puede producir la perdida de mas del 30% de la inversion de la obra especifica o perdidas consideradas importantes. | 1,5 |
| Si se pueden producir perdidas economicas no muy importantes. | 1,3 |
| Si la falla del talud no causa daños. | 1,2 |

Métodos de Escogencia del Factor de Seguridad

En nuestro caso utilizaremos 1.5 como factor de seguridad mínimo ya que es producen dificultades al tránsito libre de los peatones por los desprendimientos ocasionados en época de lluvias y también provoca daños económicos en su alrededor como ser en la gradería y la plazuela.

4.6.4 Modelación Matemática

Para la modelación matemática se procedió con ingresar todos los datos necesarios en las respectivas unidades, datos que obtuvimos de los ensayos realizados en el laboratorio de Suelos y Hormigones de la Universidad Juan Misael Saracho. Estos datos nos dan los siguientes resultados:

RESUMEN GENERAL DE LOS PUNTOS DE ESTUDIO

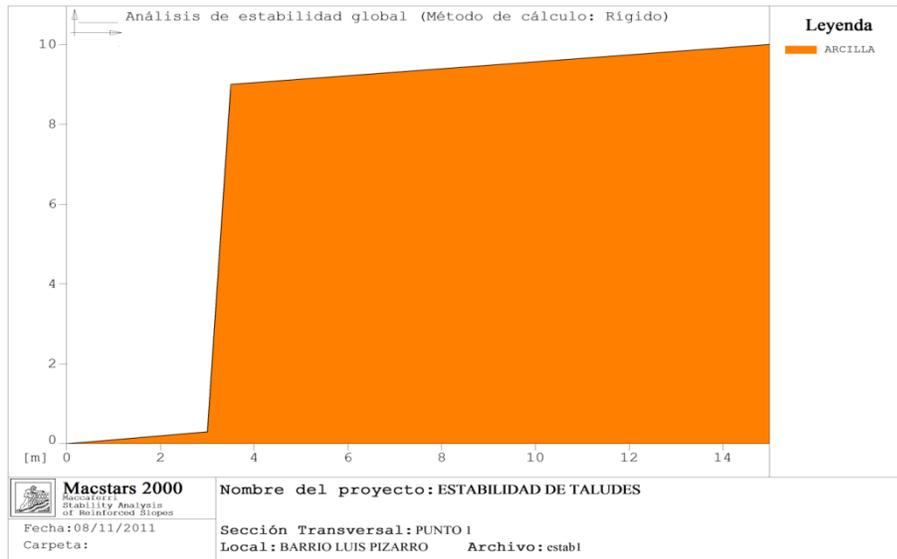
| MUESTRA | Clasificación | Clasificación | P.E. Natural | Angulo de Fricción | Cohesión inalterada |
|-----------|---------------|---------------|------------------------|--------------------|-----------------------|
| | SUCS | AASHTO | (grs/cm ³) | (°) | (Kg/cm ²) |
| Talud "A" | CL | A-6(10) | 1.62 | 0 | 0,26 |
| Talud "B" | CL | A-6(8) | 1.63 | 0 | 0,25 |
| Talud "C" | CL | A-6(10) | 1.69 | 0 | 0,26 |

También necesitaremos el coeficiente de Factor de Seguridad, el cual obtuvimos:

| Caso | Factor de Seguridad |
|---|---------------------|
| Si puede ocurrir la perdida de vidas humanas al fallar el talud | 1,7 |
| Si la falla puede producir la perdida de mas del 30% de la inversion de la obra especifica o perdidas consideradas importantes. | 1,5 |
| Si se pueden producir perdidas economicas no muy importantes. | 1,3 |
| Si la falla del talud no causa daños. | 1,2 |

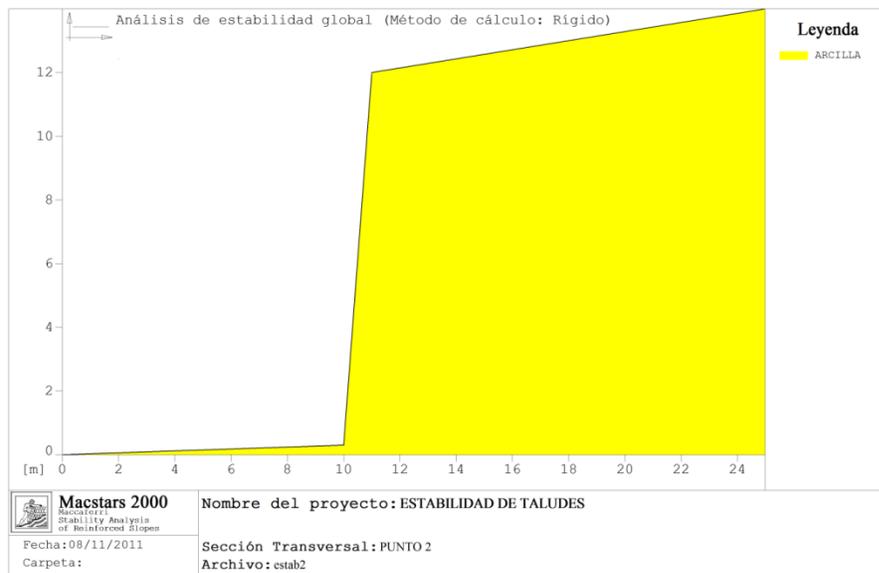
Por último los datos geométricos de los taludes en estudio que se obtuvieron del levantamiento topográfico, en este paso tendremos que idealizar el perfil para fines de cálculo, el cual nos presentan lo siguiente:

Figura 20



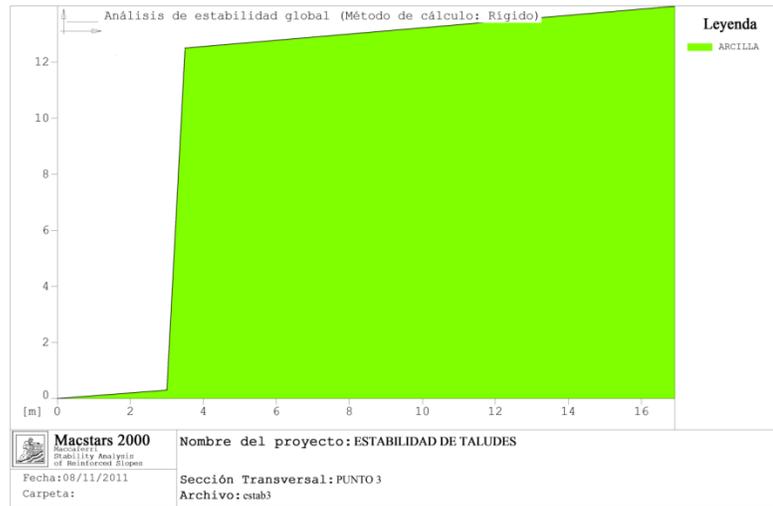
Perfil transversal punto 1.

Figura 21



Perfil transversal punto 2.

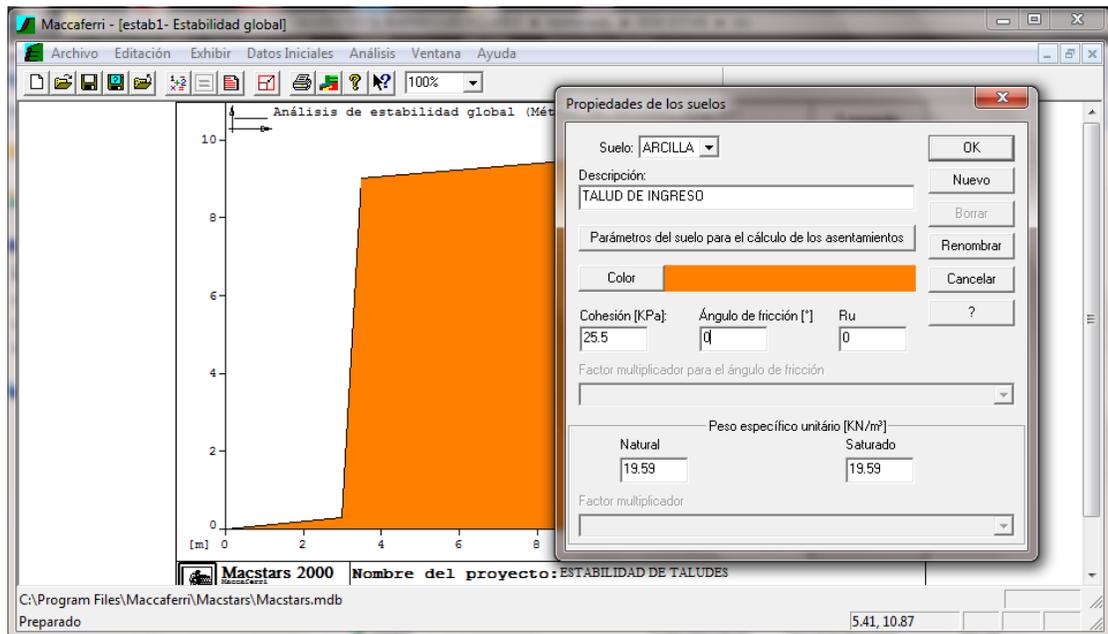
Figura 22



Perfil transversal punto 3.

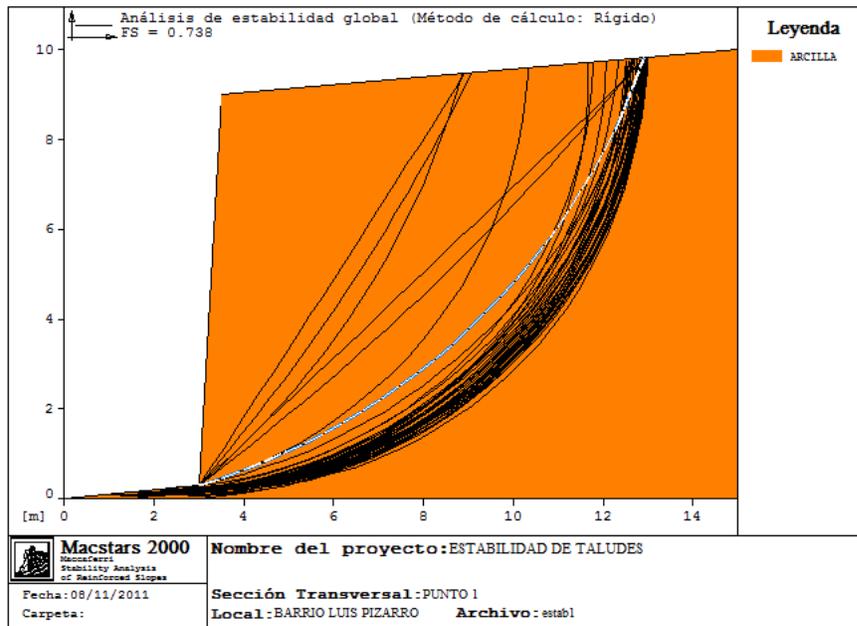
Finalmente introducimos todos los datos requeridos para su cálculo mediante el software MacStars, mediante los métodos de Janbu y Bishop, el cual nos devolvió los siguientes resultados:

Figura 23



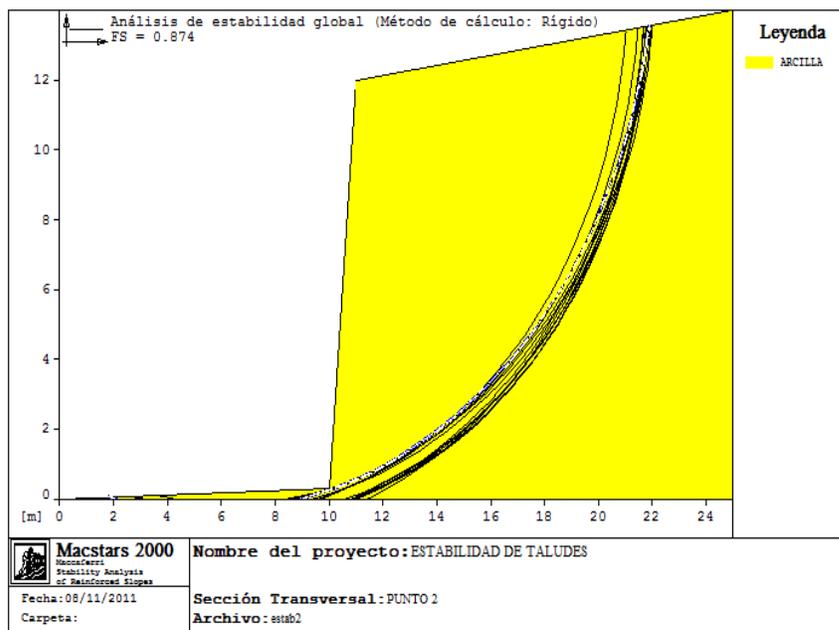
Introducción de datos al programa para el cálculo del Factor de Seguridad.

Figura 24



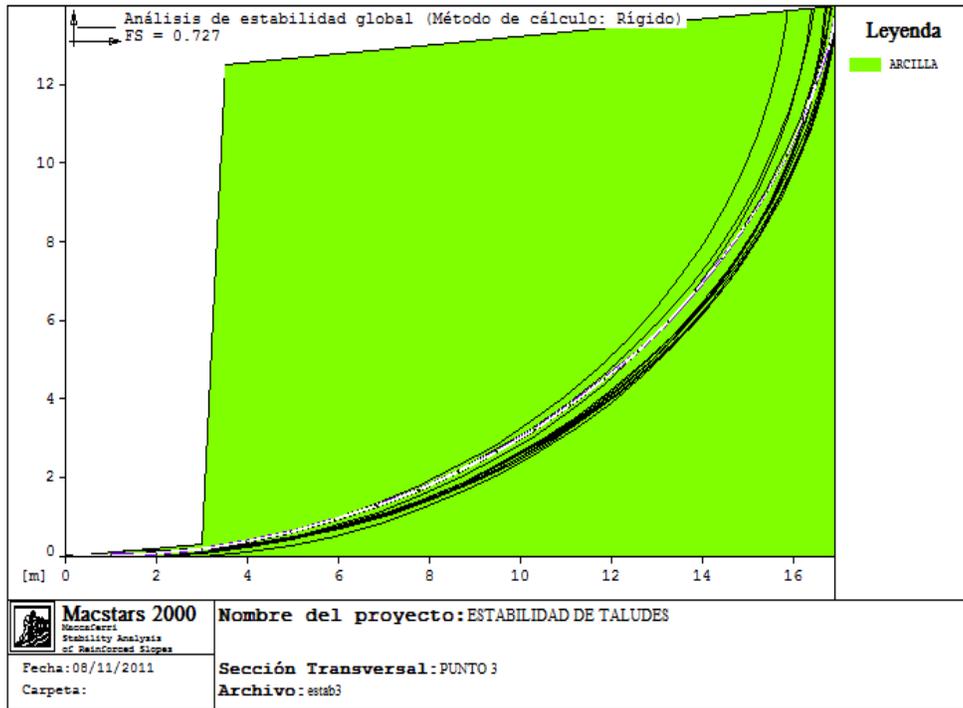
Calculo del Factor de Seguridad para el punto 1, mediante el método de Janbu.

Figura 25



Calculo del Factor de Seguridad para el punto 2, mediante el método de Janbu.

Figura 26



Calculo del Factor de Seguridad para el punto 3, mediante el método de Janbu.

| | PUNTO 1 | PUNTO 2 | PUNTO 3 |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| F.S. JANBU | 0.774 | 0.874 | 0,727 |
| F.S. BISHOP | 0.738 | 0.635 | 0.564 |

Con la determinación de los factores de seguridad de los taludes se cumplió con comprobar que los taludes son inestables, ahora lo que nos queda es plantear las posibles soluciones para evitar los deslizamientos y llegar a un factor de seguridad recomendado.

4.6.5 Planificación de obras de estabilidad para el talud y Diseño

Una vez estudiado el talud, definidos los riesgos, el mecanismo de falla y analizados los factores de equilibrio, se puede pasar al objetivo final que es el diseño del sistema de prevención control o estabilización. Se tienen varias alternativas para dar una solución a este problema, el cual será analizado desde el punto de vista técnico, social y ambiental, esto quiere decir que no siempre la mejor solución es la que se realiza, debido al factor económico.

La selección de alternativas, es un tema algo complicado, puesto que hay que tener mucho cuidado a la hora de elegir una tecnología, debido a que se debe tomar en cuenta todos los parámetros medibles de los taludes en estudio, así como también los parámetros de diseño y especificaciones técnicas de las distintas alternativas de solución para ver después que tipo de tecnología es adecuada.

A continuación se presentan algunas de las metodologías utilizadas para disminuir o eliminar el riesgo a los deslizamientos de tierra:

- Conformación Del Talud O Ladera

Sistemas que tienden a lograr un equilibrio de masas, reduciendo las fuerzas que producen el movimiento.

Tabla 15

| Método | Ventajas | Desventajas |
|--|---|---|
| Remoción de materiales de la cabeza del talud. | Muy efectivo en la estabilización de deslizamientos rotacionales. | En movimientos muy grandes las masas a remover tendrían una gran magnitud |
| Abatimiento de la pendiente. | Efectivo especialmente en suelos friccionantes. | No se puede aplicar cuando ya existe el riesgo. |
| Terraceo de la superficie. | Además de la estabilidad al deslizamiento, permite construir obras para controlar la erosión. | Cada terraza debe ser estable independientemente. |

Métodos de Conformación del Talud o Ladera

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

- Recubrimiento De La Superficie

Métodos que tratan de impedir la infiltración o la ocurrencia de fenómenos superficiales de erosión, o refuerzan el suelo más subsuperficial.

El recubrimiento puede consistir en elementos impermeabilizantes como el concreto o elementos que refuercen la estructura superficial del suelo como la cobertura vegetal.

Tabla 16

| Método | Ventajas | Desventajas |
|--|--|---|
| Recubrimiento de la superficie del talud. | El recubrimiento ayuda a controlar la erocion. | Se debe garantizar la estabilidad del recubrimiento. |
| Conformacion de la superficie. | Puede mejorar las condiciones del drenaje superficial y facilitar el control de erocion. | Su efecto directo sobre la estabilidad es generalmente, limitado. |
| Sellado de grietas superficiales. | Disminuye la infiltracion de agua. obras para controlar la erocion. | Las grietas pueden abrirse nuevamente y se requiere mantenimiento por periodos importantes de tiempo. |
| Cobertura vegetal, Arboles, arbustos y pastos. | Representan una alternativa ambientalmente excelente. | Pueden requerir mantenimiento para su establecimiento. |

Métodos de Recubrimiento de la Superficie

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

- Control De Agua Superficial Y Subterránea

Sistemas tendientes a controlar el agua y sus efectos, disminuyendo fuerzas que producen movimiento y / o aumentando las fuerzas resistentes.

Tabla 17

| Método | Ventajas | Desventajas |
|---|---|--|
| Canales superficiales para control de escorrenia. | Se recomienda construirlos como obra complementaria en la mayoría de los casos. Generalmente, las zanjas se construyen arriba de la corona del talud. | Se debe garantizar la estabilidad del recubrimiento. |
| Subdrenes de zanja. | Muy efectivos para estabilizar deslizamientos poco profundos en suelos saturados subsuperficialmente. | Poco efectivos para estabilizar deslizamientos profundos o deslizamientos con nivel freatico profundo. |
| Subdrenes horizontales de penetracion. | Muy efectivos para interceptar y controlar aguas subterrneas relativamente profundas. | se requieren equipos especiales de perforacion y su costo puede ser alto. |
| Galerias o tuneles de subdrenaje. | Efectivos para estabilizar deslizamientos profundos en formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterrneas. | Muy costosos. |

Métodos de Control de Agua Superficial y Subterránea

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

- Estructuras De Contención

Métodos en los cuales se van a colocar fuerzas externas al movimiento aumentando las fuerzas resistentes, sin disminuir las actuantes.

Las estructuras de contención son obras generalmente masivas, en las cuales el peso de la estructura es un factor importante y es común colocar estructuras ancladas en las cuales la fuerza se transmite al deslizamiento por medio de un cable o varilla de acero.

Cada tipo de estructura tiene un sistema diferente de trabajo y se deben diseñar de acuerdo a su comportamiento particular.

Tabla 18

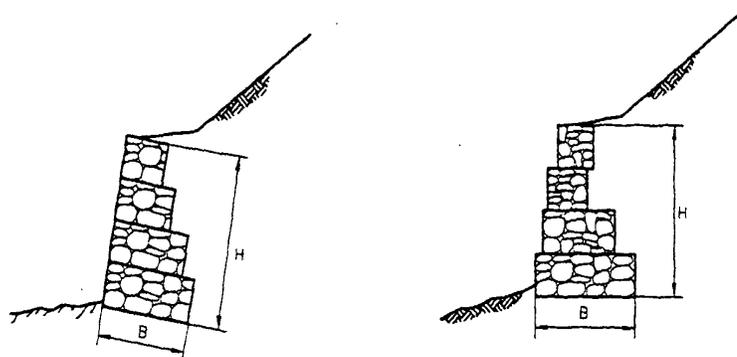
| Método | Ventajas | Desventajas |
|---|--|---|
| Relleno obermas de roca o suelo en la base del deslizamiento. | Efectivos en deslizamientos no muy grandes, especialmente en los rotacionales actuando como contrapeso. | Se requiere una cimentación competente para colocar el relleno. |
| Muros de contención convencionales, de tierra armada, etc. | Útiles para estabilizar masas relativamente pequeñas. | Se requiere una buena calidad de cimentación. Son poco efectivos en taludes de gran altura. |
| Pilotes | Son efectivos en movimientos poco profundos, en los cuales existe suelo debajo de la superficie de falla que sea competente para permitir el | No son efectivos en deslizamientos profundos o cuando aparece roca o suelo muy duro debajo de la superficie de falla. |
| Pantallas ancladas. | Útiles como estructuras de contención de masas de tamaño pequeño a mediano. | Existen algunas incertidumbres sobre su efectividad en algunos casos, especialmente, cuando hay aguas subterráneas y son generalmente costosas. |

Método de Estructuras de Contención

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

⇒ Muros de gaviones.- Un gavión consiste en una estructura paralelepédica elaborada con mallas de alambre galvanizado de triple torsión y rellenas con la piedras.

Figura 27



Muros de gaviones

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Volumen 1.

Realizando el estudio técnico podemos dar dos alternativas de solución a nuestro talud.

- **Alternativa 1. Muros de Contención con gaviones**

Después de analizadas varias alternativas de construcción, se optó por proponer un muro de gravedad en gaviones, debido principalmente a su capacidad de absorber eventuales asentamientos diferenciales y deformaciones excesivas y también que a la vez son rápidas para su ejecución con mano de obra reducida.

Un diseño adecuado para un muro de contención debe considerar los siguientes aspectos:

- a. Los componentes estructurales del muro deben ser capaces de resistir los esfuerzos de corte y momento internos generados por las presiones del suelo y demás cargas.
- b. El muro debe ser seguro contra un posible volcamiento.
- c. El muro debe ser seguro contra un desplazamiento lateral.
- d. Las presiones no deben sobrepasar la capacidad de soporte del piso de fundación.
- e. Los asentamientos y distorsiones deben limitarse a valores tolerables.
- f. Debe impedirse la erosión del suelo por debajo y adelante del muro bien sea por la presencia de cuerpos de agua o de la escorrentía de las lluvias.
- g. Debe eliminarse la posibilidad de presencia de presiones de agua detrás del muro.
- h. El muro debe ser estable a deslizamientos de todo tipo.

Procedimiento

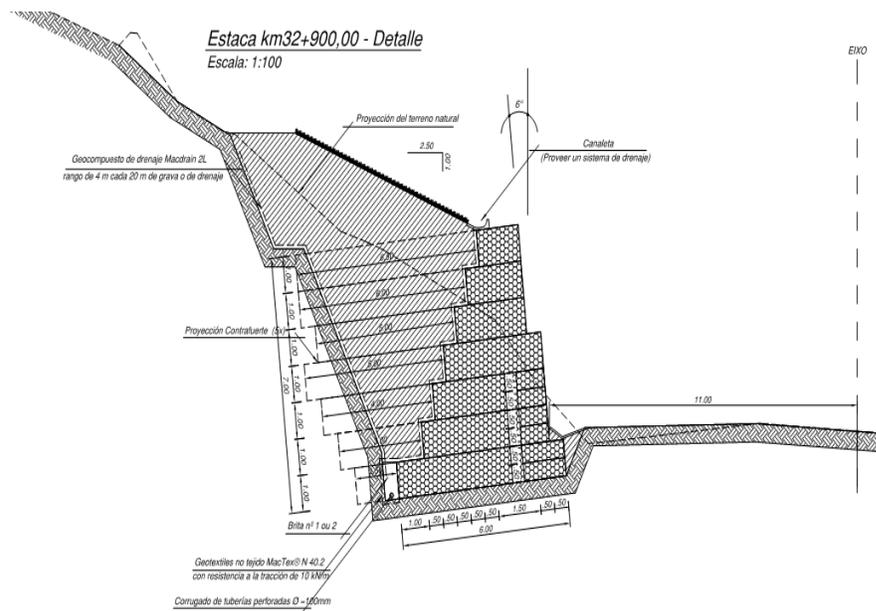
Procedemos al diseño conociendo la topografía del sitio y la altura necesaria del muro.

Conocidas las propiedades de resistencia del procedemos a calcular las fuerzas activa y pasiva y su punto de aplicación y dirección de $1/2$ a $2/3$, de acuerdo al ángulo de fricción del suelo y la topografía arriba del muro.

Este cálculo de estabilidad lo realizaremos mediante el software GawacWin, que se adjunta en anexos. Ya que este programa utiliza el método del "Equilibrio Limite",

las teorías de Rankine, Coulomb, Meyerhof, Hansen y Bishop (optimizado a través del algoritmo minimizador Simplex) para la verificación de la estabilidad global del conjunto suelo/estructura.

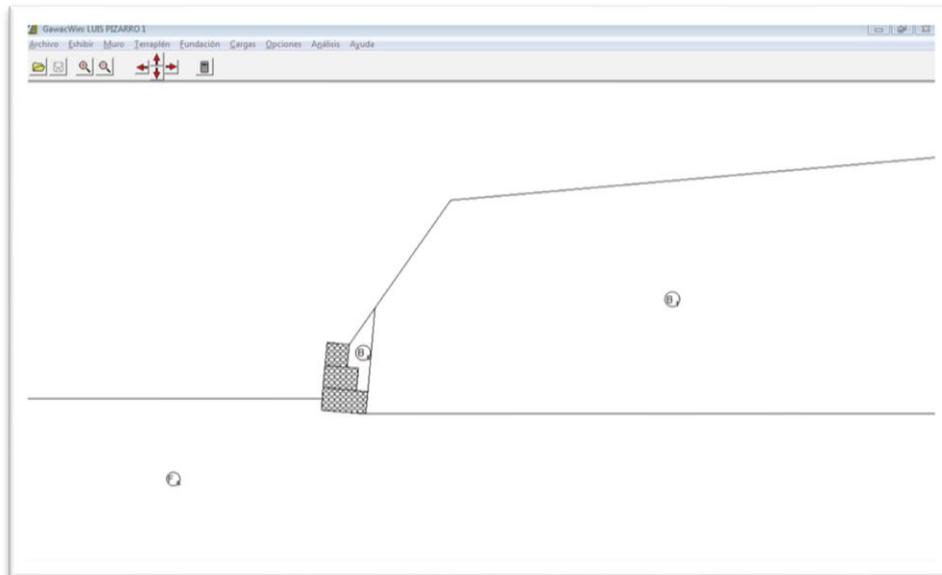
Figura 28



Alternativa con muros de Gavión

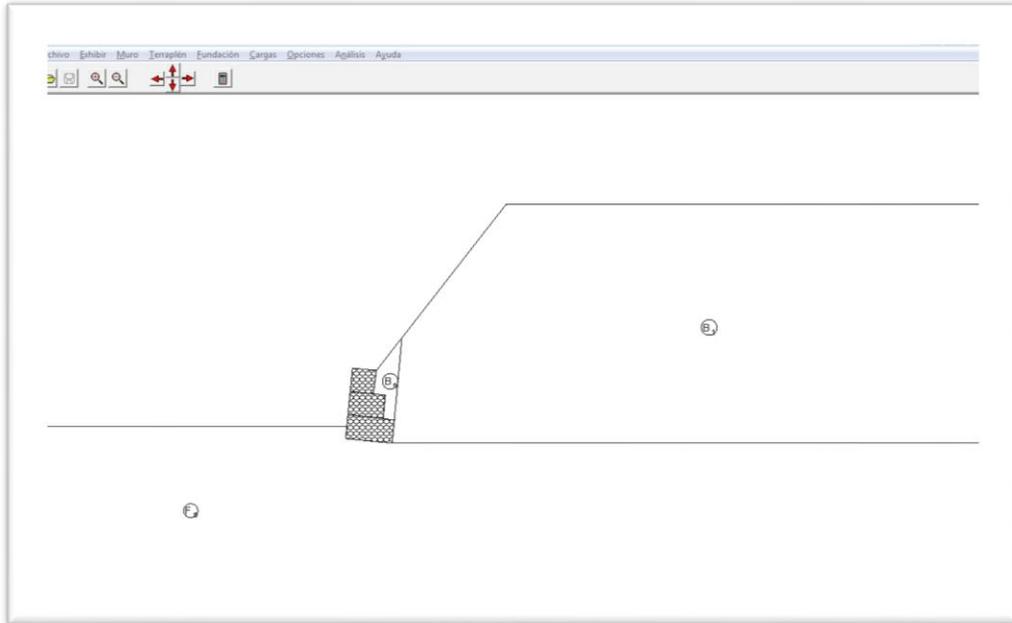
Fuente: Maccaferri Brasil 2010. Biomac

Figura 29



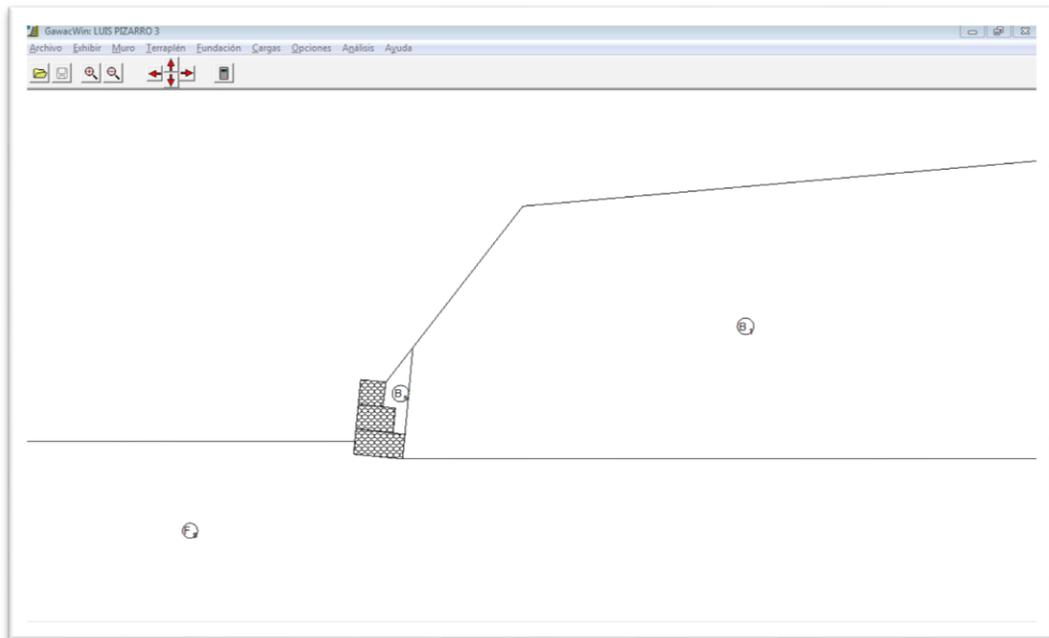
Alternativa con muros de Gavión PUNTO 1

Figura 30



Alternativa con muros de Gavión PUNTO 2

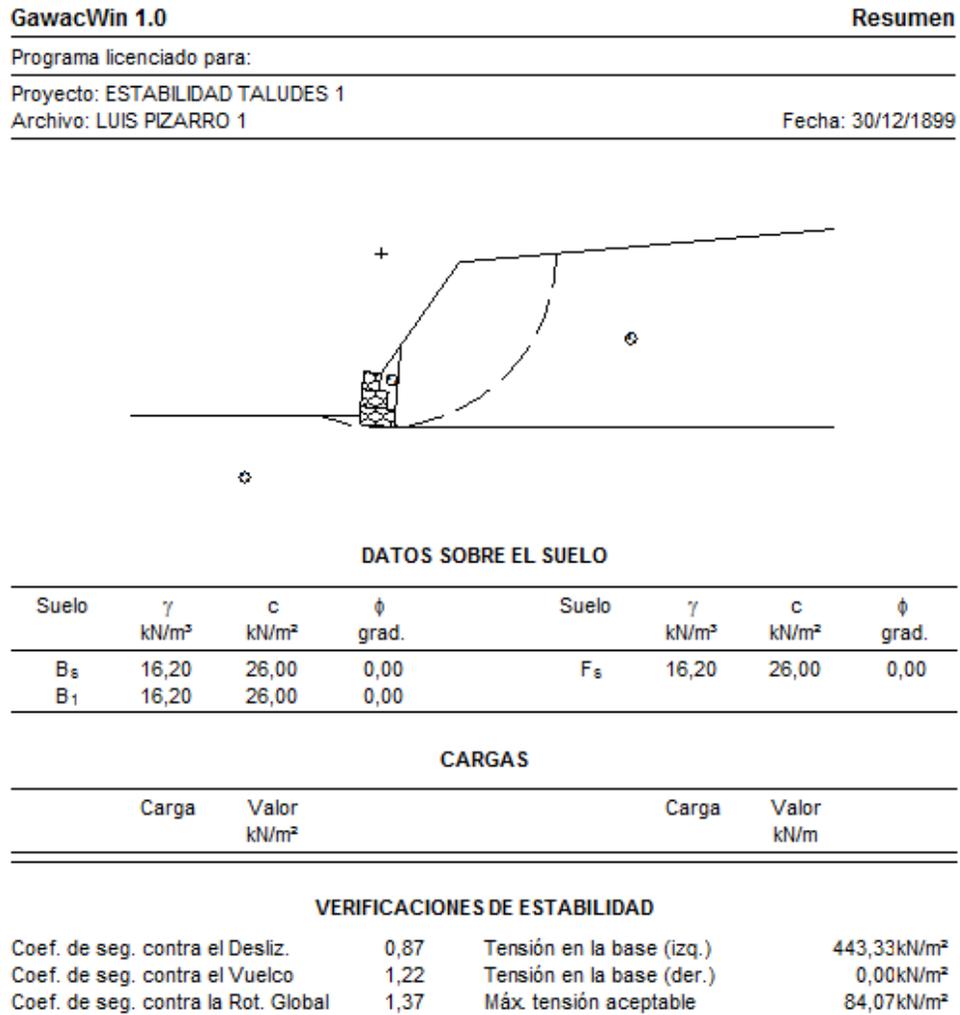
Figura 31



Alternativa con muros de Gavión PUNTO 3

Después de haber introducido nuestros datos realizamos el cálculo del Factor de Seguridad contra la Rotura Global, el cual nos devuelve los siguientes resultados:

Figura 32



Verificación de Estabilidad de muros de Gavión.

RESUMEN DE RESULTADOS

| | PUNTO 1 | PUNTO 2 | PUNTO 3 |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| F.S. contra Rotura Global | 1.37 | 1.33 | 1.31 |

A continuación presentaremos algunos casos que se realizaron con Muros de Gaviones.

Figura 33



Muros de Gavión en construcción

Figura 34



Muros de Gavión en construcción

Figura 35



Muros de Gavión concluida

Figura 36



Muros de Gavión concluida

- **Alternativa 2. Abatimiento de la Pendiente y Revestimiento de Taludes con geomanta.**

Las obras de revestimiento de taludes tienen como finalidad proteger la superficie de taludes geotécnicamente estables contra la erosión y deslizamientos superficiales, teniendo también la función de recuperar el aspecto ambiental de esos taludes por medio de recubrimiento vegetal.

Por lo tanto lo primero que se realiza es cambiar de pendiente al terreno para que este sea estable, y nos brinde el factor de seguridad mínimo que se asumió, este procedimiento se encuentra en la parte de anexos.

Una vez identificado el problema, se propone utilizar un sistema de protección superficial contra procesos erosivos, a través de la utilización de un sistema compuesto por la aplicación de material fertilizado e instalación de biomantas sobre toda el área del talud.

Básicamente la obra puede ser descrita de la siguiente manera: limpieza y regularización del área erosionada; conformación de la zanja de anclaje del talud; aplicación del material fertilizado en dosis adecuada de adobo, fertilizante y semilla, para restituir la camada de suelo orgánico desaparecida; aplicación de plantas ya desarrolladas para incrementar la revegetación del talud; por último, la colocación de los rollos de biomanta, utilizando traslapes de 15cm y anclada debidamente con piñones de acero, tanto en la parte superior del talud como a lo largo de toda la superficie, para evitar el desprendimiento de la misma.

Importancia de la vegetación.

La vegetación suele ser utilizada con el objetivo de la prevención y control de erosión desde hace siglos, habiendo sido los chinos, romanos e incas los pioneros. La cobertura vegetal de los suelos presentes en los taludes contribuye para atenuar la tasa de erosión, manteniendo aún la humedad y facilitando la infiltración de las aguas en el terreno. Ella propicia diversos efectos tanto desde un punto de vista geotécnico, ecológico, económico o incluso estético, pero cada uno de ellos tiene sus particularidades.

Geotécnico

- Protección de las orillas contra la erosión causada por el impacto de las gotas de la lluvia, de la corriente u olas.
- Aumento de la estabilidad de los taludes por el establecimiento de una matriz suelo-raíz y por modificaciones en el contenido de humedad.
- Protección contra la acción del viento.
- Enriquecimiento del material orgánico del suelo, disminuyendo su cizallamiento.
- Reducción de la velocidad del agua.

Ecológico

- Ablandamiento de extremos de temperatura y humedad del aire junto a la superficie del suelo.
- Optimización de las relaciones hídricas en el sistema suelo-planta-atmósfera.
- Reducción de las tasas de evapotranspiración.
- Mejora de la calidad del agua.
- Aparecimiento de refugios para las microfaunas e insectos.

Económico

- Reducción de los costos de ejecución y manutención.

Estético

- Armonización y mejoría del paisaje.
- Reducción del impacto visual con el aumento del área verde.

INSTALACIÓN

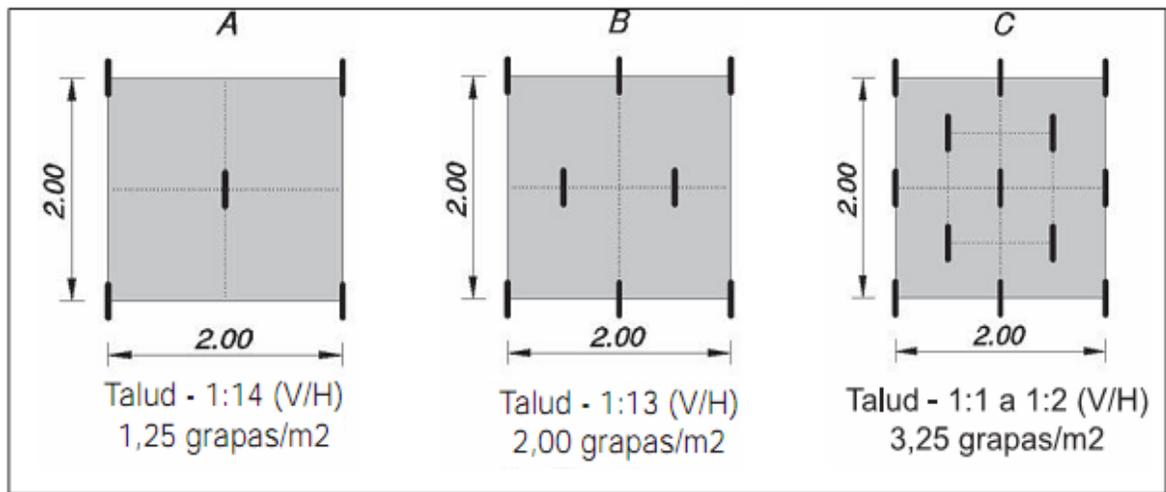
Una vez estable el talud, prepárelo para ser revestido por la geomanta, limpiándolo por la remoción de troncos o cualquier obstáculo que pueda obstruir el desenrollar de la bobina de geomanta, uniformizando y regularizando el proceso. Esa limpieza podrá ser hecha con el auxilio de equipamientos pesados o manualmente, pudiendo variar de acuerdo con las condiciones presentadas en el sitio. Si la camada de suelo

superficial (suelo fértil) hubiese sido removida por motivo de intemperies, se debe importar suelo de otro sitio o de un punto adjunto, y ponerlo sobre el sitio afectado. Previamente a la instalación de la geomanta, se debe ejecutar una canaleta espaciada al menos 1.0 m del tope del talud (medida variable de acuerdo con el tipo de suelo del talud a ser revestido). Esta canaleta tiene como principal función anclar la geomanta al talud, además de ser responsable por el drenaje superior, impidiendo que el agua entre por bajo de la geomanta, lo que puede causar la erosión superficial incluso con la presencia del material geosintético. Esta canaleta deberá ser ejecutada antes del desarrollo de la geomanta sobre el talud y presentar una profundidad y ancho mínimo de 0.30m, y su largo se procederá por toda la extensión del talud a proteger. Una de las extremidades de la geomanta deberá ser colocada al fondo de la canaleta, de forma que puedan ser fijadas grapas que permitan su correcto posicionamiento dentro de ella. Después de posicionar la protección geosintética correctamente, la canaleta deberá ser rellenada con el mismo suelo que fue retirado durante su abertura, compactándolo manualmente.

Durante la instalación, la geomanta deberá estar bien uniformizada sobre el talud, por eso, se debe evitar el surgimiento de arrugas o dobleces que dañen ese contacto. Después de anclado, el rollo deberá ser desenrollado de arriba para abajo sobre la superficie del talud; esta acción podrá ser hecha con el auxilio de un balancín con vástagos de encaje o manualmente con el cuidado de orientarlo durante la instalación. En la secuencia de desarrollo, el rollo adyacente deberá ser anclado y desenrollado como citado anteriormente, con traslape mínimo de 0.30m.

Para que la geomanta sea debidamente anclada al talud a ser protegido, se debe respetar una secuencia predeterminada, o sea, el espaciamiento entre cada grapa de anclaje deberá ser función de algunas variables como la inclinación y largo del talud. Estas grapas de fijación deben garantizar una mejor uniformidad y contacto del geosintético con el talud. Por ese criterio, se concluye que, aunque el talud esté libre de irregularidades, una inspección visual en el sitio deberá ser hecha después de la aplicación del material sobre el talud, recomendada al clavar adicional de las grapas en los puntos que no presenten fijación adecuada.

FIGURA 37



Distribución de las grapas de anclaje.

Para el correcto desarrollo de la vegetación sobre la geomanta es necesaria la realización de un sembrado sobre el material. Este sembrado podrá ser hecho básicamente de tres maneras distintas:

- lanzamiento manual.
- mezcla de semillas.
- hidrosembadura.

El sembrado por lanzamiento manual deberá ser hecho después de la instalación de la geomanta, donde el operador podrá lanzar las semillas del tope del talud a lo largo de la extensión de la obra.

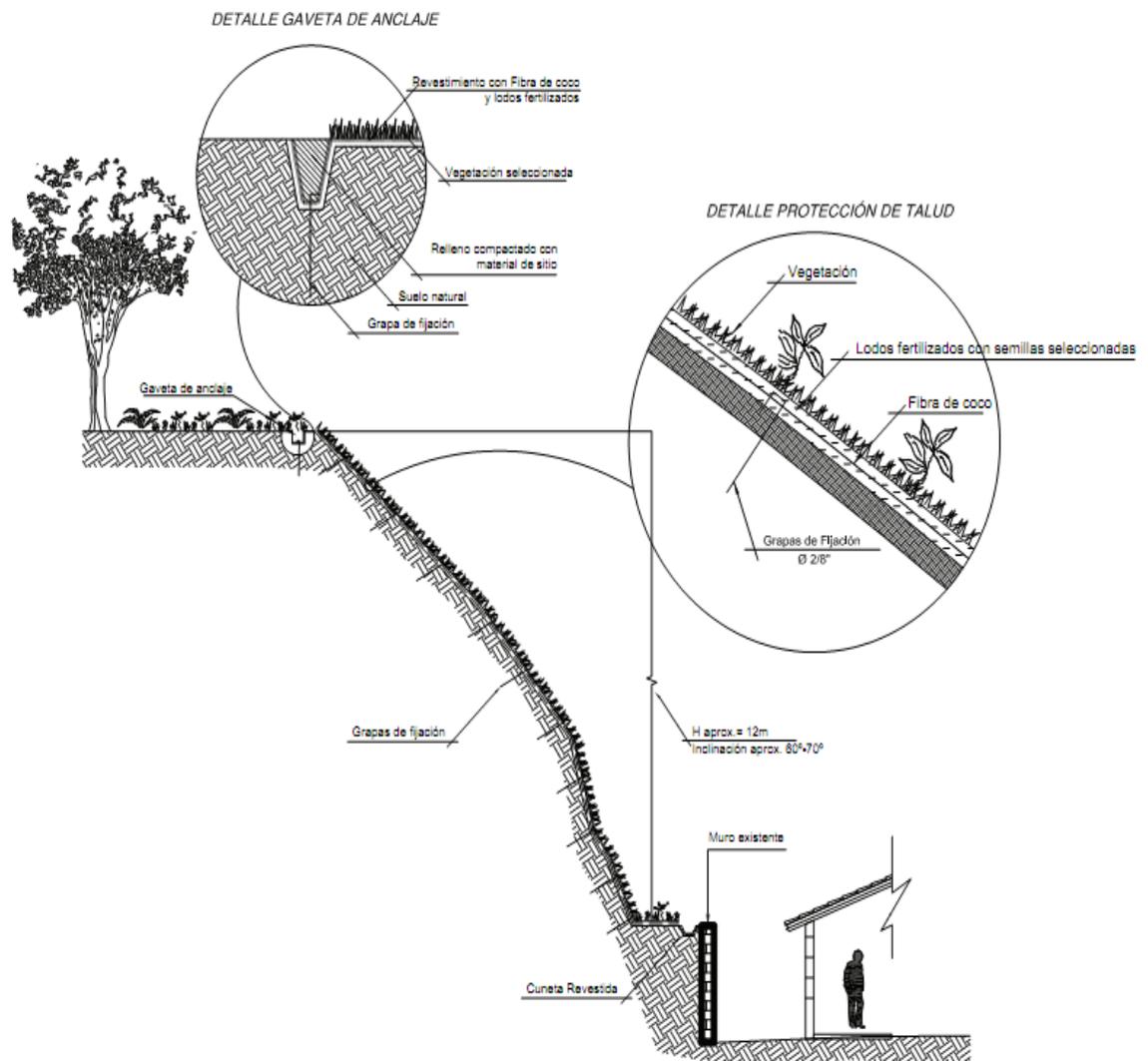
Después del lanzamiento de las semillas, una camada de suelo vegetal (suelo de cobertura fértil) deberá ser lanzado sobre el material garantizando el confinamiento y nicho favorable a la germinación de las semillas.

El sembrado por mezcla de semillas es hecha después de la preparación del sitio de la obra, por medio de un sembrado manual que tiene por finalidad acelerar el proceso de desarrollo vegetativo y una mejor densificación de la vegetación protectora. Ese sembrado podrá ser hecho en toda la extensión del talud o en puntos específicos que necesiten un mejor aprovechamiento de la vegetación.

Deberán ser hechos hoyos de aproximadamente 0,05 m de profundidad y espaciamiento mínimo de 0,10 m con el objetivo de abrigar los insumos vegetativos y aumentar la rugosidad del terreno, dificultando también el esparcimiento superficial y evitando pérdidas puntuales en el sembrado.

El sembrado por hidrosiembra es hecho por un chorro de semillas de acuerdo con dosis, abono e hidratación correcta, dispensando así el suelo de cobertura sobre la geomanta. Tal procedimiento es más rápido que los comentados anteriormente, siendo su aplicación más indicada en grandes áreas que serán sembradas.

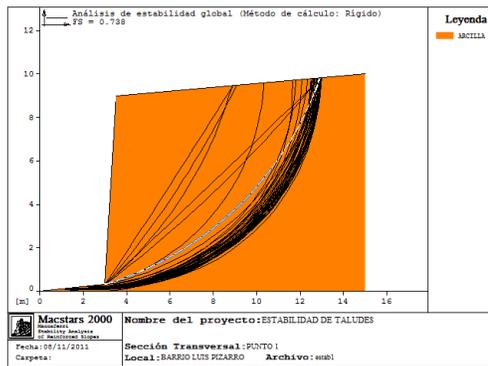
Figura 38



Alternativa con geomanta.

Fuente: Maccaferri Brasil 2010. Biomac

Para la resolución de la inestabilidad presentada se debe definir una nueva geometría de la topografía, es decir, debemos cambiar la pendiente de nuestros taludes hasta llegar el factor de seguridad buscado, en tal caso tenemos:



Configuración de las capas

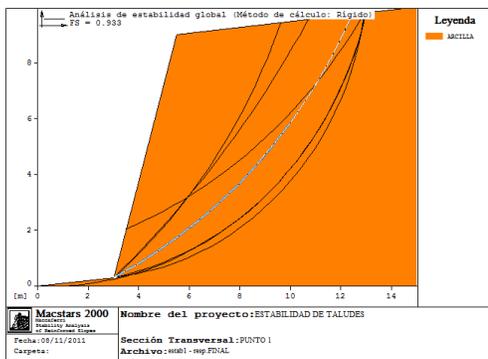
Camada: 1

Descripción: TALUD DE INGRESO

| | X [m] | Y [m] |
|---|-------|-------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 3 | 0.3 |
| 3 | 3.5 | 9 |
| 4 | 15 | 10 |

Limite rocoso

Suelo: ARCILLA



Configuración de las capas

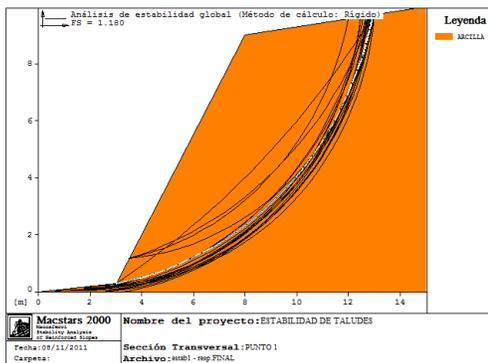
Camada: 1

Descripción: TALUD INGRESO

| | X [m] | Y [m] |
|---|-------|-------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 3 | 0.3 |
| 3 | 5.5 | 9 |
| 4 | 15 | 10 |

Limite rocoso

Suelo: ARCILLA



Configuración de las capas

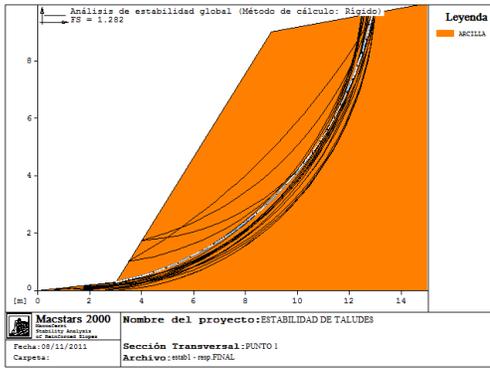
Camada: 1

Descripción: TALUD INGRESO

| | X [m] | Y [m] |
|---|-------|-------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 3 | 0.3 |
| 3 | 8 | 9 |
| 4 | 15 | 10 |

Limite rocoso

Suelo: ARCILLA



Configuración de las capas

Capada: 1

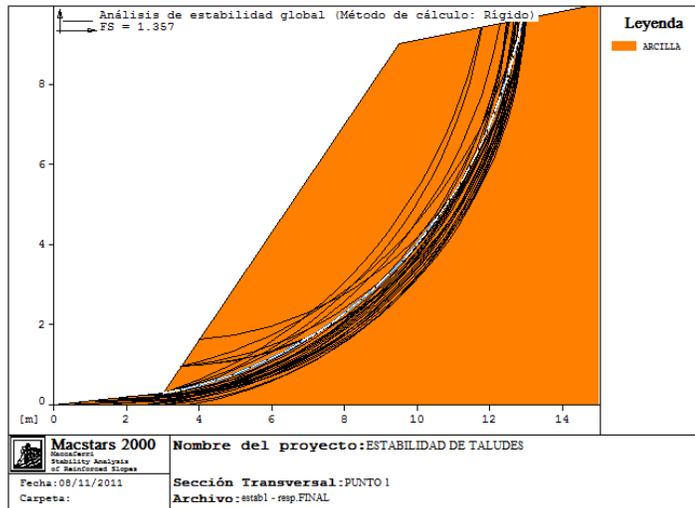
Descripción: TALUD INGRESO

| | X [m] | Y [m] |
|---|-------|-------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 3 | 0.3 |
| 3 | 9 | 9 |
| 4 | 15 | 10 |

Limite rocoso
 Suelo: ARCILLA

Finalmente se debe abatir la geometría del punto 1 de la siguiente manera:

Figura 39



Pendiente definida mediante el factor de seguridad. Punto 1

Con una geometría:

Configuración de las capas

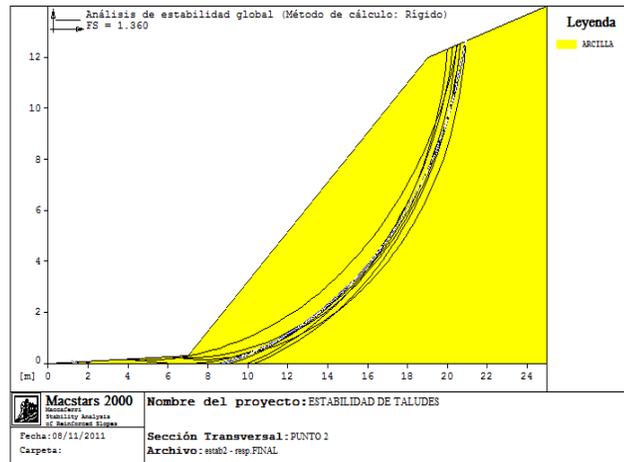
Capada: 1

Descripción: TALUD INGRESO

| | X [m] | Y [m] |
|---|-------|-------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 3 | 0.3 |
| 3 | 9.5 | 9 |
| 4 | 15 | 10 |

Limite rocoso
 Suelo: ARCILLA

Figura 40

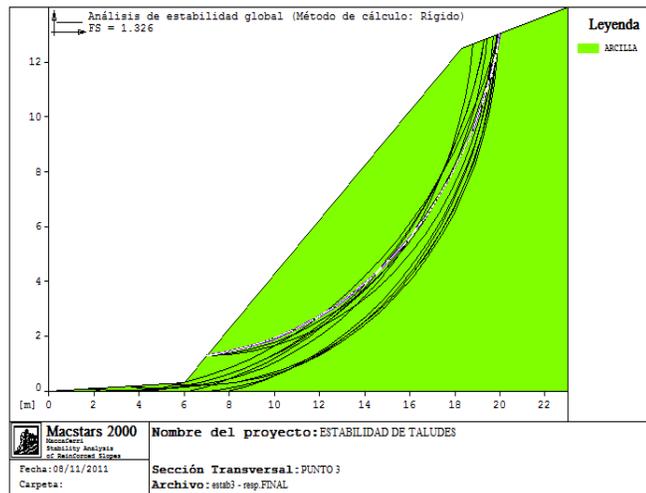


Pendiente definida mediante el factor de seguridad. Punto 2

Con una geometría:

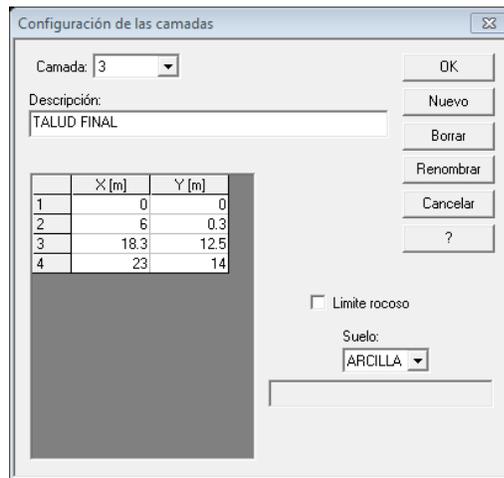


Figura 41



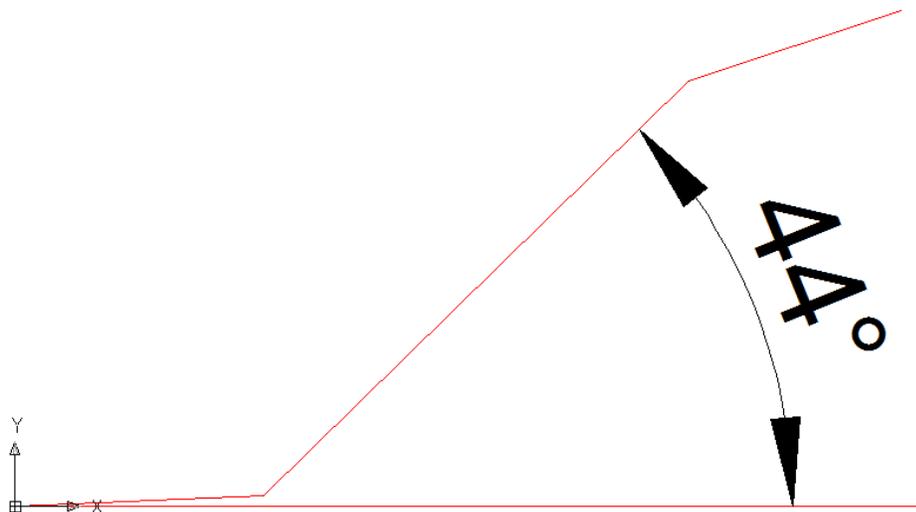
Pendiente definida mediante el factor de seguridad. Punto 3

Con una geometría:



| | PUNTO 1 | PUNTO 2 | PUNTO 3 |
|-------------|--------------|--------------|--------------|
| F.S. JANBU | 1.357 | 1.360 | 1.326 |
| F.S. BISHOP | 1.324 | 1.341 | 1.307 |

Se concluye que de todos los puntos, el más representativo llegaría a ser el punto 2, por lo tanto se abatirá al terreno con la pendiente que represente ese punto, es decir, con un ángulo de inclinación de 44 grados desde la horizontal.



A continuación presentaremos algunos casos que se realizaron con geomanta y el buen resultado que se obtuvieron.

Figura 42



Taludes con geomanta durante la construcción

Figura 43



Taludes con geomanta durante la construcción

Figura 44



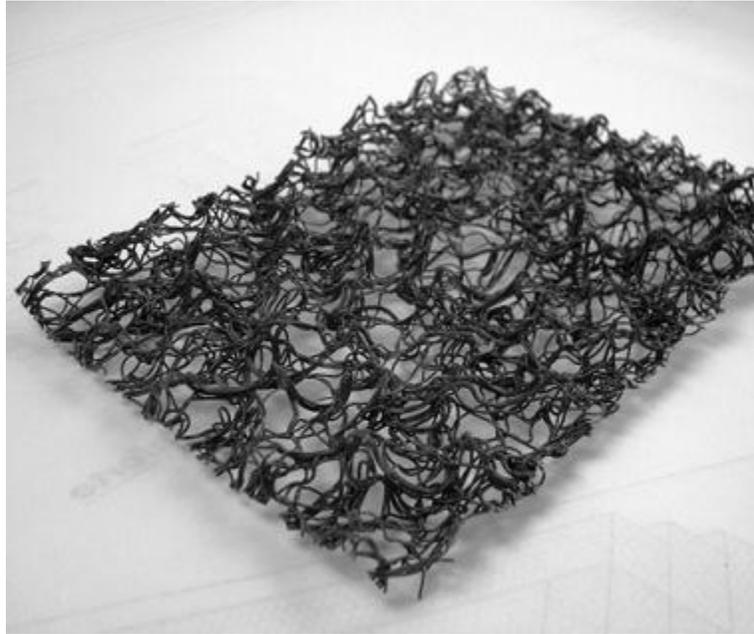
Taludes con geomanta concluida

Figura 45



Taludes con geomanta concluida

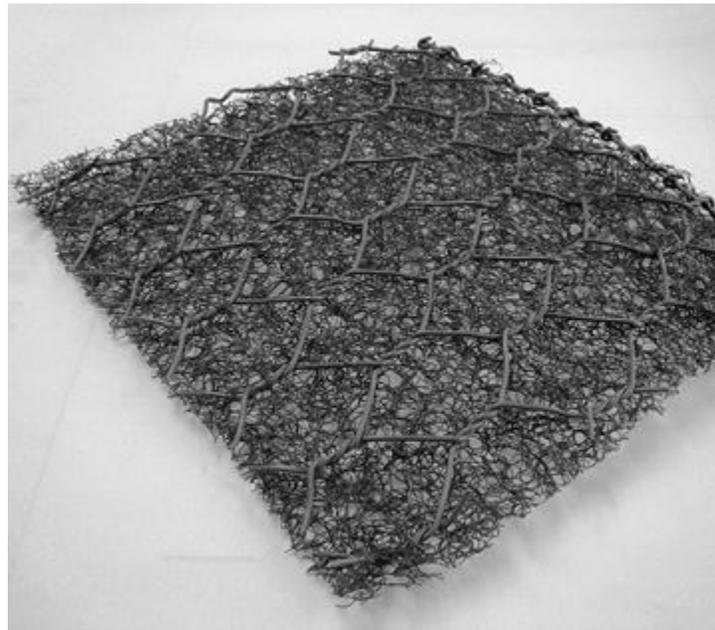
Figura 46



Geomanta recomendada para uso en taludes casuales con inclinación hasta 1 (vertical) :1.50 (horizontal)

Fuente: Maccaferri Brasil 2010. Biomac

Figura 47



Geomanta con alambre, recomendada para uso en taludes que necesitan de mayor confinamiento de suelo.

Fuente: Maccaferri Brasil 2010. Biomac

4.6.6 Estudio Técnico de las alternativas.

| METODO | VENTAJAS |
|--------------------------|---|
| MUROS DE GAVIONES | <p>Los gaviones permiten la construcción de estructuras monolíticas, flexibles, permeables, de bajo impacto ambiental, resistentes a lo largo del tiempo y que se integran fácilmente al medio circundante.</p> <p>Son compuestas por elementos modulares formada por paneles en malla hexagonal a doble torsión.</p> <p>Los gaviones presentan resistencia a la tracción suficiente para garantizar a ala estructura flexibilidad y absorción del empuje del suelo.</p> <p>Son de construcción simple y rápida, son permeables y de bajo impacto ambiental.</p> <p>Son fáciles y rápidas de construirlas y no necesitan mano de obra calificada.</p> <p>La estructura tienen poca vida útil.</p> |

| METODO | VENTAJAS |
|--|--|
| <p>ABATIMIENTO DE LA PENDIENTE Y RECUBRIMIENTO DE LA SUPERFICIE DEL TALUD</p> | <p>Efectivo especialmente en suelos friccionastes.</p> <p>Su finalidad es recubrir el talud geotécnicamente estables de erosión superficial, propiciando la recuperación del medio circundante.</p> <p>Se recomienda construir canales superficiales para el control de escorrentía como obra complementaria, generalmente se construyen arriba de la corona del talud.</p> <p>Constructivamente son rápidas y fáciles de elaborar.</p> <p>No necesita de mucho personal ni maquinaria en su construcción.</p> |

PODEMOS DEFINIR TECNICAMENTE COMO MEJOR ALTERNATIVA

ABATIMIENTO DE LA SUPERFICIE Y RECUBRIMIENTO DEL TALUD

CON GEOMANTA

4.6.7 Estudio de Impacto Ambiental de las Alternativas.

Un Plan de Manejo Ambiental de Obra es una síntesis precisa y de fácil comprensión de los impactos ambientales susceptibles de ser producidos por un proyecto o actividad. Por ello es un instrumento de conocimiento y evaluación concreto, que identifica las acciones que se deben introducir en las fases del proyecto para eliminar, minimizar, controlar o compensar los efectos eventualmente negativos sobre el medio y potenciar los benéficos. Es una herramienta para la toma de decisiones.

Es importante recalcar que no siempre las obras pequeñas generan impactos pequeños, por ello, el diseño de la obra y su Plan de Manejo Ambiental, por simples que puedan resultar, deben corresponder en su contenido y profundidad a las características y entorno del proyecto, obra o actividad, constituyéndose en un requisito indispensable para dar inicio a la misma.

MEDIDAS ESTRUCTURALES UTILIZADAS EN LA GESTIÓN DE RIESGOS

Las medidas estructurales de prevención y de mitigación de riesgos son obras de ingeniería empleadas para reducir o llevar a niveles “aceptables” el riesgo al que esta expuesta una comunidad. Pueden ser catalogadas como preventivas, correctivas o de control. Su construcción requiere de diseños de Ingeniería y optimización de los recursos; así como, de un Plan de Manejo Ambiental que posibilite la reducción de los impactos que generan.

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Un impacto ambiental se produce cuando una acción o actividad genera una alteración, negativa o positiva, en el medio o en algunos de los componentes del medio.

El impacto que produce un proyecto se puede definir como una diferencia entre dos situaciones del medio ambiente: la que presentaría en un futuro tras haber realizado una determinada acción o actividad y la que tendría en el futuro si no se hubiera realizado.

Las definiciones, adoptadas en esta guía, de los elementos indicadores de los componentes ambiental y social que se ven afectados por la ejecución de las obras de mitigación de riesgos, son:

En Geoforma:

a) Inestabilidad del terreno y erosión: Se generan cuando las actividades de obra cambian o modifican los factores que controlan la estabilidad del área intervenida,

como son la geometría por cortes o rellenos, la cobertura, la presencia de agua y la sobrecarga.

b) Alteración del paisaje: es una modificación en la armonía y la dinámica del entorno natural o urbano.

En el suelo:

a) Alteración de la capa orgánica: ocurre cuando la capa de material fértil que recubre la superficie de la Tierra se modifica en calidad y cantidad afectando sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

b) Contaminación: este componente se asocia a la inadecuada disposición del material orgánico y los residuos sólidos producidos durante la obra. (Residuos de concreto, asfalto, formaletas, ácidos, lubricantes, combustibles, plásticos, etc.) que deterioran la calidad del suelo y el subsuelo.

c) Modificación en el drenaje: El drenaje externo está dado por el escurrimiento superficial y el drenaje interno por la infiltración y la percolación. Su patrón de comportamiento se modifica por el movimiento de tierras.

d) Modificación de las propiedades físicas y químicas: la remoción del material vegetal, que actúa como cobertura, modifica las propiedades de los suelos dejándolo a exposición directa de los factores climáticos.

En el aire:

a) Generación de ruido: la generación de ruido en el desarrollo de las diferentes actividades constructivas y a la operación y mantenimiento de maquinaria, causa molestias y perturbación de las actividades cotidianas a los trabajadores y la población circundante.

b) Emisión de

- Gases: Debido a la operación de maquinaria durante la obra y al aumento del flujo vehicular.

- Partículas: Aumento de partículas en suspensión, que pueden tener efectos sobre la visibilidad, causar molestias a las personas, animales o vegetación.

- Olores: La inadecuada disposición de residuos sólidos y líquidos se constituyen en focos de mal olor y establecimiento de plagas y roedores.

En el agua:

a) Cambios de calidad del agua: alteración de los límites admisibles de los parámetros físicos químicos para que este recurso sea utilizado para consumo doméstico, riego o recreación. Fluctuaciones fuertes de los parámetros como oxígeno disuelto, exceso de nutrientes, lodos, alcalinización del agua debido al vertimiento de residuos de concreto, vertimientos de aguas residuales con altos contenidos de carga orgánica, así sean de carácter temporal, alteran la calidad del agua.

b) Alteración de cauces y caudales: desestabilización o cambios en las márgenes de los cauces, hundimientos en los lugares de rivera, aportes de materiales, socavaciones, represamientos, cambios en el patrón de drenaje y cambios en el flujo del agua por disposición accidental de materiales sobrantes, modifican los cauces y caudales.

c) Turbiedad y sedimentación de cauces: el lavado de material pétreo, el movimiento de tierras, gravas y arenas; la trituración de materiales y la incorrecta disposición de residuos sólidos originan aguas residuales cargadas de material fino que cambian la coloración de las aguas, incrementan los sedimentos y aumentan el material particulado disuelto como en suspensión.

d) Alteración por lubricantes y combustibles: hace referencia al aporte de residuos líquidos de origen industrial como grasas, aceites, ácidos, anticorrosivos, combustibles y lubricantes utilizados durante la movilización y operación de las maquinarias; además de productos químicos utilizados. Su efecto es altamente nocivo e irreversible.

En fauna y flora:

a) Alteración de la cobertura vegetal: producidos directa o indirectamente por la tala de árboles, el retiro de coberturas vegetales y la fragmentación del ecosistema en el sitio de obra o su área de influencia, al perderse la capa vegetal se reducen las fuentes de alimento para las especies de fauna asociada, generando procesos de migración y competencia con otras especies. Al remover la vegetación se favorecen los procesos erosivos.

b) Alteración de hábitat y la biodiversidad: Se da en las áreas en donde la vegetación es removida o remplazada por materiales inertes así como cuando la calidad del agua es alterada; modificando los lugares de refugio, reproducción, cría y oferta alimenticia de la fauna y las cadenas tróficas.

Sociales:

a) Afectación de la movilidad de peatones y usuarios: la ocupación temporal de las vías generan molestias en la comunidad e interfirieren con sus actividades cotidianas. Uno de los factores que se ve más afectado es el tráfico vehicular y/o peatonal, situación que causa demoras y aumentos en los tiempos de desplazamientos.

b) Impacto en el estilo de vida de las comunidades: las actividades de obra alteran la cotidianidad y generan expectativas sobre la percepción del riesgo en los pobladores. La afluencia de personal foráneo y la apropiación de nuevos conocimientos inciden en el estilo de vida.

c) Afectación a la salud de la población: Durante las actividades constructivas y operativas de la obra, se pueden ocasionar accidentes o lesiones indeseadas, tanto a los trabajadores como a los transeúntes y la comunidad en general.

d) Generación de empleo: Se considera un impacto positivo, siempre y cuando se le de un manejo apropiado, dado que posibilita el trabajo y mejora los ingresos de la población beneficiada.

FICHAS DE MANEJO Y DE PERMISOS AMBIENTALES

Las siguientes fichas de manejo ambiental están orientadas a indicar planes de acción para cada una de las actividades en obra.

En nuestro caso tenemos las siguientes actividades:

1. DESCAPOTE Y REMOCIÓN DE LA CAPA ORGÁNICA
2. EXCAVACIÓN
3. RELLENO
4. TRATAMIENTO Y MANEJO DE LA COBERTURA VEGETAL
5. RESTAURACIÓN DE ÁREAS INTERVENIDAS

Estudio de Impacto ambiental de las alternativas.

Podemos concluir que en general las dos alternativas tienen un impacto ambiental positivo.

Ahora lo que marca la diferencia entre las dos alternativas es:

a) **Muros de Contención con Gaviones.**

| ELEMENTOS | MUROS DE GAVIONES |
|--|--|
| <p>PIEDRAS, GRAVA, ACERO GALVANIZADO</p> | <ul style="list-style-type: none"> - No contempla la reducción de los procesos erosivos. - El movimiento de tierras es mínimo, lo cual reduce el impacto de alteración del medio. - Produce alteración de los procesos de erosión del terreno por pérdida de cobertura vegetal. - Produce alteración de flora y usos del suelo nativos. - Genera mucha alteración de la calidad paisajística. - El acero galvanizado demora en oxidarse en su totalidad. |

b) **Abatimiento de la superficie y revestimiento del talud con geo manta.**

| ELEMENTOS | ABATIMIENTO DE LA SUPERFICIE CON GEOMANTA |
|--|---|
| <p>GEO MEMBRANA, COBERTURA VEGETAL DEL LUGAR</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Mayor integración paisajista - recupera el aspecto ambiental de los taludes por medio de recubrimiento vegetal. - Enriquecimiento del material orgánico del suelo, disminuyendo su cizallamiento. - Reducción del impacto visual con el aumento del área verde. - Reducción de las tasas de evapotranspiración. - Reducción de la velocidad del agua. - Se debe promover la siembra de especies originales del área o en su defecto proveer condiciones propicias para la regeneración natural de la cobertura. |

**PODEMOS DEFINIR AMBIENTALMENTE COMO MEJOR
ALTERNATIVA ABATIMIENTO DE LA SUPERFICIE Y
RECUBRIMIENTO DEL TALUD CON GEOMANTA**

4.6.8 Estudio Económico de las Alternativas.

MURO DE GAVION

| Nº | Descripción | Und. | Cantidad | Unitario | Parcial (Bs) |
|---------------------------|--|----------------|----------|----------|-------------------|
| 1 | REPLANTEO | m | 147,29 | 5,09 | 749,71 |
| 2 | EXCAVACION CON MAQUINARIA | m ³ | 125,10 | 20,16 | 2.522,02 |
| 3 | RELLENO Y COMPACTADO C/SALTARINA INC MAT | m ³ | 763,39 | 167,92 | 128.188,45 |
| 4 | PROV. Y CONST. GAVION CON REVEST. ZN-AL | m ³ | 250,20 | 474,42 | 118.699,88 |
| 5 | LIMPIEZA Y RETIRO DE ESCOMBROS | m ³ | 125,10 | 55,12 | 6.895,51 |
| Total presupuesto: | | | | | 257.055,57 |

Son: Doscientos Cincuenta y Siete mil Cincuenta y Cinco con 57/100 Bolivianos

ABATIMIENTO DE LA SUPERFICIE CON GEOMANTA

| Nº | Descripción | Und. | Cantidad | Unitario | Parcial (Bs) |
|---------------------------|--------------------------------|----------------|----------|----------|-------------------|
| 1 | REPLANTEO | m | 147,29 | 5,09 | 749,71 |
| 2 | EXCAVACION CON MAQUINARIA | m ³ | 2.697,41 | 20,16 | 54.379,75 |
| 3 | PROV. COL. DE GEOMANTA | m ² | 831,51 | 207,55 | 172.580,15 |
| 4 | LIMPIEZA Y RETIRO DE ESCOMBROS | m ³ | 125,10 | 55,12 | 6.895,51 |
| Total presupuesto: | | | | | 234.605,11 |

Son: Doscientos Treinta y Cuatro mil Seiscientos cinco con 11/100 Bolivianos

PODEMOS DEFINIR ECONOMICAMENTE COMO MEJOR ALTERNATIVA ABATIMIENTO DE LA SUPERFICIE Y RECUBRIMIENTO DEL TALUD CON GEOMANTA

5. CAPITULO V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Concluido con el estudio de estabilidad de taludes se llega a las siguientes conclusiones:

- Se realizó la toma de muestras alteradas e inalteradas del lugar para poder realizar los ensayos correspondientes; con las muestras alteradas se realizaron los ensayos de clasificación de suelos y peso específico. Con la muestra inalterada se realizó el ensayo de peso específico natural, obtención de la cohesión y el ángulo fricción interna.
- De todo el análisis mecánico realizado con el suelo en estudio, muestra que los suelos son de tipo CL es decir son arcillas inorgánicas de baja plasticidad, con un peso específico natural de 1.63 g/cm³, con granulometría 95% pasa el tamiz N° 200.
- Se determino el peso específico natural, por medio del ensayo del cono de arena, este ensayo se lo realizo en el núcleo del talud para poder obtener un valor confiable.
- Se realizo el ensayo de compresión simple o inconfineda, se pudo determinar el valor de la cohesión y el ángulo de fricción interna del suelo.
- Se realizó el análisis de los resultados obtenidos en laboratorio y se pudo verificar que estos se encuentran dentro de los rangos permitidos por las tablas de bibliografía, ubicadas dentro de la Aplicación Practica en el Capítulo 4.
- Se determinó que el Factor de seguridad mínimo que se debería de tener de acuerdo a nuestras condiciones es de 1.30, debido a que la falla puede

producir pérdidas no muy importantes en la inversión de la obra y riesgo de accidentes a los transeúntes.

- Se pudo definir el grado de inestabilidad por los métodos propuestos, estos se los realizaron mediante el software MacStars, de Maccaferri. Los taludes presentaron Factor de Seguridad de 0.738, 0.635 y 0.564, que nos indica que se pueden producir desprendimientos grandes y pérdidas económicas y daños humanos.
- Se realizó el diseño de alternativas de solución, uno de los cuales son muros de gaviones, esta alternativa se lo calculó mediante el Software GawacWin de Maccaferri que concluye con una estabilidad global de 1.37, 1.33 y 1.31, que son mayores al F.S. propuesto y nos da la seguridad buscada.
- Otra alternativa de solución es el Abatimiento de la Superficie combinado con recubrimiento del talud con geomanta, consiste en reducir la pendiente del talud hasta que el factor de seguridad sea mayor a 1.30, posteriormente cubrirlo con geomanta para evitar de esta manera la erosión hídrica que se pueda provocar a causa de las lluvias.
- La alternativa de Abatimiento de la pendiente nos da un factor de seguridad de 1.357, 1.360 y 1.326, obteniendo una geometría del talud con una pendiente de 44 grados respecto a la horizontal permanente.
- Se define como mejor alternativa técnica, ambiental y económica, a la alternativa de abatimiento de la pendiente y recubrimiento del talud con geomanta.

5.2.Recomendaciones

- La identificación de zonas inestables será difícil pero son importantes para tomar previsiones sobre este problema, para la misma será preciso realizar una visita al lugar. La inspección se deberá realizar partiendo del panorama general hacia los detalles particulares. Se deberá prestar atención a la inclinación de las laderas y sus cambios de pendiente, relacionándolos con las variaciones de materiales que indique la geología superficial. Se buscaran muy especialmente signos específicos, tales como manantiales, veneros, encharcamientos, deformaciones, inclinación de árboles, agrietamientos, etc. En la gran mayoría de los casos será muy difícil prever la existencia de futuros deslizamientos, y el ingeniero deberá limitarse a extremar sus precauciones en aquellos lugares en que exista una secuencia de materiales digna de desconfianza.
- Es recomendable para la toma de muestras de la masa de un talud, que las muestras no sufran alteraciones en sus propiedades y lleguen a los laboratorios especializados lo más rápido posible ya que cualquier alteración en la muestra obtenida puede dar lugar a la obtención de valores errados.
- Se debe colocar la muestra inalterada tallada de tal manera que se encuentre de la misma posición en la que estaba en el talud, además de no presentar ninguna fisura, puesto que cualquier fisura en la muestra produce lecturas erróneas al momento de realizar el ensayo de compresión simple.
- Uno de los factores que se tomó en cuenta dentro de los parámetros de diseño es el factor agua, que llega a producir la erosión hídrica, la cual produce desprendimiento, transporte y depósito de los materiales de suelo por la acción del agua en movimiento. Estos efectos los debemos conocer por ser uno de los principales factores de falla que provocan la inestabilidad de nuestro talud.

- No se recomienda la alternativa de solución con muros de gaviones porque:
El espacio en el lugar no es apto para ampliar el talud y montar los gaviones de diseño, ya que estos sistemas necesitan por lo menos un ancho de 2 y 3 metros sin tomar en cuenta la camada, lo que ocasionarían una pérdida de terreno de circulación peatonal en el área verde.
Técnicamente su construcción sería incomoda y perjudicial para los peatones.
Ambientalmente el alambre por el cual están constituidas las cajas demoran en oxidarse y desaparecer.

- Se define como mejor alternativa al Abatimiento de la superficie, esta solución es viable, porque:
 - Se utilizara la geomanta y posteriormente se realizara el recubrimiento con vegetación, con el objetivo de controlar la erosión y al ser biodegradables con el tiempo no afectan al medio ambiente.
 - Dan un buen aspecto estético siendo el sitio de estudio área verde del Barrio se propone como buena alternativa social y ambientalmente.

- Cualquiera sea la alternativa seleccionada, se debe pensar en la evacuación de aguas superficiales para controlar la erosión, que como se observo es un factor importante en la desestabilización de nuestros taludes, en tal caso se propone realizar zanjas de evacuación de aguas, al mismo tiempo que tendrá la función de anclar la biomanta al talud.

BIBLIOGRAFIA

KART TERSAGHI – RALPH B. PECK

“Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica”. Editorial El Ateneo Buenos Aires (1978).

RICO, ALONSO Y DEL CASTILLO, HERMILO

“Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres VOL. II” Editorial Limusa.

JUÁREZ BADILLO / RICO RODRÍGUEZ.

“Mecánica de Suelos”

T. WILLIAM LAMBE / ROBERT V. WHITMAN.

“Mecánica de Suelos” Editorial Limusa Usa (1979).

CARLOS CRESPO VILLALAZ.

“Vías de Comunicación” Limusa Noriega Editores México D.F. (1996).

MACAFERRI

“Obras de Contención, Manual técnico”

INFORMACIÓN ADICIONAL VÍA INTERNET