

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 ANTECEDENTES.**

El moderno desarrollo de las actuales vías de comunicación, tales como canales, caminos, así como el impulso la construcción de presas de tierra han puesto al diseño y construcción de taludes en un plano de importancia de ingeniería de primer orden.

Tanto por el aspecto de inversión, como por las consecuencias derivadas de su falla, los taludes constituyen hoy una de las estructuras de ingeniería que exigen mayor cuidado por parte del proyectista.

Tarija, en la actualidad es uno de los departamentos más privilegiados en lo que se refiere a recursos naturales e hidrocarburíferos, debido a este motivo nuestra ciudad esta viviendo un desarrollo acelerado en varios aspectos, principalmente en la estructura vial y todo lo que esto implica, desde los estudios a diseño final hasta la operación y mantenimiento de nuestros caminos y carreteras.

En estos últimos tiempos se esta dando mayor importancia a los taludes de carreteras en toda nuestra región, debido a que se están empleando obras de estabilización o de protección.

Por lo que en el departamento de Tarija no se ha incursionado un estudio específico de la estabilización de taludes arenosos, pero si se realizó un análisis general, de estabilidad de taludes para diferentes tipos de suelo y protección de los mismos.

Se plantea realizar un análisis de estabilización de taludes arenosos por tres métodos como ser el Método Bishop, Método Fellenius, Método rápido Janbú, se realizará un análisis comparativo de los tres métodos y se planteará una alternativa de solución.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN.**

Debido a este acelerado crecimiento vial es que se hace necesario un estudio sobre los elementos de las carreteras y el comportamiento entre ellos (taludes) como componente fundamental de la estructura viaria, ya sean estos naturales y artificiales (terraplenes).

Dentro de la ingeniería de carretas el diseño y construcción de taludes fue siempre considerada como una especialidad que no requería una metodología racional de apoyo, estas circunstancias han hecho que este tipo de obras tengan en general comportamientos muy por debajo de lo considerado normal, es por esto que en el presente, se pretende realizar un análisis de suelos que contengan un alto porcentaje de arena que conforman los taludes del tramo para poder darle una solución al deslizamiento o desestabilización que es uno de los principales problemas que existen en los taludes.

También porque la duración de nuestras carreteras depende en una gran medida de la estabilidad de taludes y de los métodos de protección que se les pueda brindar a los taludes.

Además por que con el estudio del origen y consecuencias de los deslizamientos, se podrá encontrar la manera de tratar y controlar adecuadamente a los taludes para poder prevenir y evitar futuros deslizamientos.

Nuestra región obliga a buscar soluciones de estabilización, debido a que la diversidad de suelo y de roca son los dos tipos de material que constituye la corteza terrestre tiene un comportamiento que en muchos casos originan inestabilidades que finalizan en deslizamientos.

La justificación principal es que con este trabajo se pueda aportar de manera fundamental a la sociedad, con una aplicación en la parte de construcción de carreteras debido a los problemas de taludes en nuestra región, ya que al optimizarse el diseño de los mismos se optimizarán los recursos económicos y se brindará mayor seguridad y confiabilidad para los usuarios.

### **1.3. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.**

Una de las dificultades que se presenta en la mayoría de nuestras carreteras, es la inestabilidad de taludes o laderas, que provoca la interrupción del tráfico vehicular y accidentes muchas veces fatales para el usuario.

#### **1.3.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.**

Debido al acelerado crecimiento de nuestros caminos y carreteras uno de los principales problemas se presenta en nuestra región debido a las características topográficas es la inestabilidad de taludes en suelos con alto porcentaje de arena en el tramo Palos Blancos Bereti.

#### **1.3.2. OBJETO DE ESTUDIO.**

Métodos de estabilidad de taludes Arenosos.

#### **1.3.3. CAMPO DE ACCIÓN.**

Estudio de estabilidad de taludes enfocado a analizar los diferentes aspectos generales como factores y sus características que afectan el comportamiento de los taludes y los métodos de aplicación para estabilizar taludes arenosos en carreteras.

### **1.4. OBJETIVO GENERAL.**

El objetivo general de este trabajo es realizar una evaluación sobre la estabilización de taludes arenosos que pueden ser aplicadas en zonas de fallas con riesgo de deslizamiento en el tramo Palos Blancos - Bereti del Departamento de Tarija.

#### **1.4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Realizar el análisis comparativo de diseño tomando en cuenta los métodos de estabilización Método Fellenius, Método de Bishop, Método Janbú.

- Realizar un análisis comparativo de las obras a utilizar para la estabilidad de taludes en el tramo Palos Blancos - Bereti.
- Analizar los diversos factores que afectan el comportamiento de los taludes.
- Analizar las características de los taludes.
- Selección y ubicación de los taludes para estudio.
- Determinar los parámetros de diseño de cada método como ser peso específico, ángulo de fricción interna y la cohesión en laboratorio.
- Seleccionar las obras de estabilidad, diseñar y calcular las obras de estabilidad.

### **1.5. ALCANCE GLOBAL DEL PROYECTO.**

Este estudio se lo realizará debido al crecimiento vial que nuestro país experimenta desde años atrás, crecimiento que afecta directamente a las carreteras de nuestro medio, por que podemos ver que, la duración de las mismas está en función en una gran medida de la estabilidad y protección de los taludes.

Nuestra región contiene una gran diversidad de suelo y roca, que muchas veces demuestran un comportamiento tal que se originan inestabilidades que desembocan en deslizamientos o desprendimientos de grandes masas de suelo o roca, es este el gran problema que afecta con serias consecuencias a las diferentes carreteras de nuestro país, también es por esta razón que este estudio se hace importante por que así podremos encontrar la manera de controlar adecuadamente los taludes.

Es vital, que los ingenieros que se dedican al diseño de nuestras carreteras le den la importancia necesaria a los taludes, y este estudio podrá brindar tal vez una herramienta de trabajo, debido a que se utilizarán tecnologías innovadoras y modernas buscando siempre las soluciones más adecuadas a la estabilidad de taludes.

Se realizará una aplicación práctica seleccionando taludes de nuestro medio para poder realizar el correspondiente estudio de estabilización de taludes arenosos, y plantear la mejor alternativa para estabilizar estos tipos de suelos.

## **1.6. ALCANCE POR CAPÍTULOS DEL PROYECTO.**

### **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.**

En este primer capítulo se pretende dar una breve introducción de antecedentes, también se justificará la elección del tema y se hablará sobre los objetivos que se pretenden alcanzar con la realización del tema planteado.

Otro aspecto importante que se tocará en esta primera parte se refiere a la metodología de estudio que se utilizará en el proyecto.

### **CAPÍTULO II ASPECTOS GENERALES SOBRE TALUDES EN CARRETERAS.**

En este capítulo se realizará un estudio minucioso sobre generalidades en carreteras y conceptos de taludes, se analizará los fundamentos sobre deslizamientos de cómo estos intervienen en la estabilidad de taludes. Se hablará de las características tanto de suelos estables como de suelos inestables, de factores externos como el viento, sismo, agua y sobrecargas, y de cómo estos factores intervienen en la inestabilidad de un talud.

### **CAPÍTULO III ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE UN TALUD.**

En este capítulo se hablará de la estabilidad de taludes para adquirir conceptos básicos que nos vas a servir de apoyo para realizar la investigación. Luego se analizaran con profundidad cada uno de los métodos para aplicarlo en especial a la estabilización de taludes arenosos, este estudio formula modelo de análisis territorial sobre la estabilización de taludes.

También se hablará de las diferentes obras de estabilización de taludes y se definirá una obra de estabilidad que mejor se emplace para suelos arenosos.

### **CAPÍTULO IV APLICACIÓN PRÁCTICA.**

Para este capítulo que es de aplicación netamente práctica o de campo se debe seleccionar un talud para poder realizar todo el estudio correspondiente, y recabar información del

mismo, cabe hacer notar que se adquirió información sobre los taludes del tramo por “ABC”.

Se realizara un estudio de suelos, abocado a obtener los parámetros de diseño que requiere el método elegido; es decir peso unitario, el ángulo de fricción interna, cohesión, se plantea una clasificación de suelos.

La evaluación y los métodos sólo se aplicarán a los tramos donde estén conformados por taludes arenosos.

Se plantea analizar los tres métodos de estabilidad de taludes que nos pueda dar resultados óptimos para dar soluciones a los problemas constantes que se presentan en nuestras carreteras.

Se expondrá el cálculo y resultados correspondientes para la obra de estabilización de taludes.

## **CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

Para esta última parte se darán las conclusiones y recomendaciones necesarias sobre este estudio de estabilización de taludes arenosos mediante los métodos de estabilización como ser el Método Fellenius, Método Bishop, Método Rápido de Jambú, Se dará a conocer los óptimos resultados de la obra de estabilización como solución esperando que este trabajo aporte de manera fundamental a los ingenieros que se dedican al diseño de carreteras y también a la sociedad, ya que una optimización en el diseño de taludes es una optimización de recursos económicos, además de que se estaría brindando más seguridad y confiabilidad a los usuarios al poder controlar los derrumbes o deslizamientos provocados por una falla de talud.



## CAPÍTULO II

### ASPECTOS GENERALES SOBRE TALUDES EN CARRETERAS

#### 2.1 GENERALIDADES.

El moderno desarrollo de las actuales vías de comunicación, con sus exigencias crecientes, obliga a grandes movimientos de tierras que dan lugar a la aparición de taludes de gran tamaño.

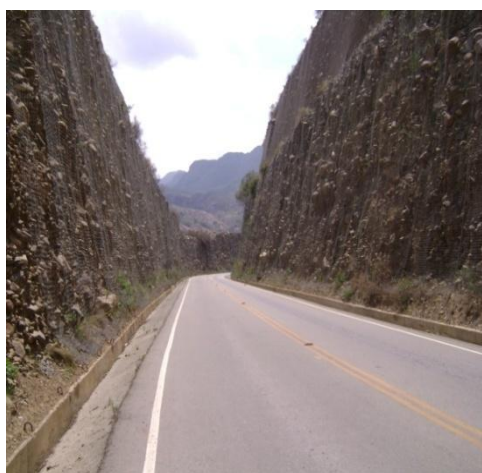
La palabra TALUD se ha venido utilizando para identificar esos diferentes tipos de terreno, y aunque quizás su utilización, en el sentido expresado, no sea totalmente correcta, si ha resultado útil. El termino talud se trata de toda aquella superficie más o menos inclinada con respecto a la horizontal que hayan de adoptar “permanentemente” las masas de suelo o roca, estas inclinaciones se dan en forma natural (laderas) o por la intervención humana (cortes y terraplenes).

FIGURA II- 1



Ladera (**forma natural**)

FIGURA II- 2



Corte (**intervención humana**)



Tanto por el aspecto de inversión, como por las consecuencias derivadas de su falla, los taludes constituyen hoy una de las estructuras ingenieriles que exigen mayor cuidado en el diseño y construcción de las carreteras, redes ferroviarias e incluso las obras de arte hidráulicas, ya que requieren de métodos o formas que garanticen el cuidado de las mismas, ya sea por el aspecto económico o por las consecuencias que derivan de la falla del talud.

Dentro de las características más importantes debemos tomar en cuenta a los suelos estables y los suelos inestables, así como los factores que intervienen en la inestabilidad, factores en su mayoría naturales como el agua, el viento, el sismo y las sobrecargas, que son actores directos que afectan negativamente la estabilidad de un talud.

## **2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS TALUDES EN CARRETERAS.**

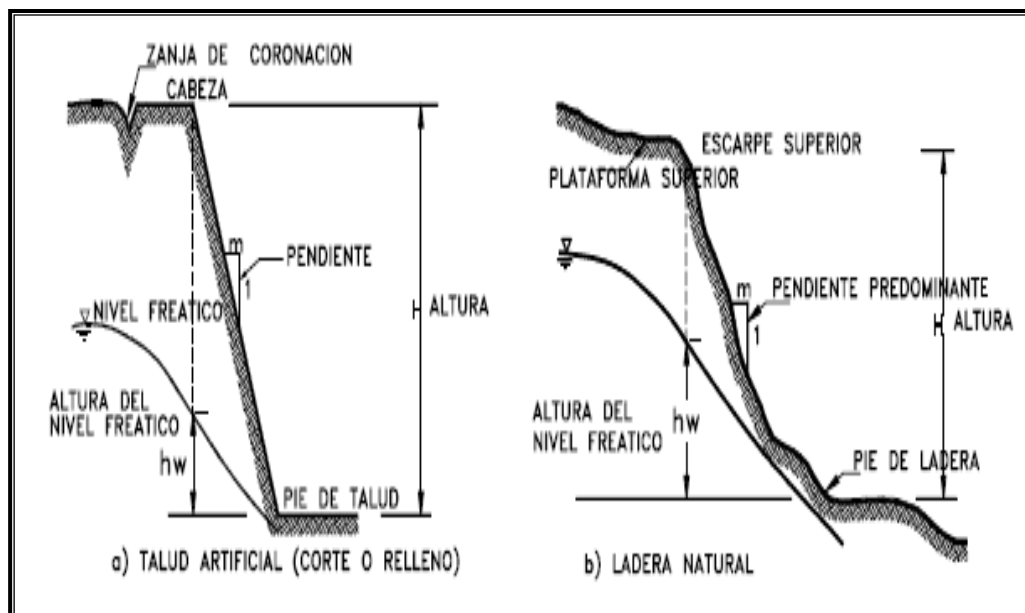
Los taludes en carreteras sobre todo en zonas montañosas se caracterizan por ser muy susceptibles a sufrir deslizamientos de tierra, debido a que generalmente se reúnen elementos como la topografía, la sismicidad, la meteorización, y las lluvias intensas.

Un talud o una ladera son una masa de tierra que posee pendiente o cambios de altura significativos, no es plana y tienen como origen un proceso artificial en el caso del talud, y un proceso natural en el caso de una ladera.

Las laderas que han permanecido estables por mucho tiempo pueden llegar a fallar debido a los cambios topográficos que el hombre provoca; la sismicidad que es un factor netamente natural; flujos de agua subterráneos; cambios en la resistencia del suelo; la meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifican el estado natural de estabilidad de cualquier talud o ladera.

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

FIGURA II - 3



Nomenclatura de taludes y laderas

En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos que debemos conocer para poder comprender mejor su funcionamiento: altura, pie, cabeza o escarpe, altura del nivel freático y la pendiente.

### 1. 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.

### 2. Pie

Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior del talud.

### 3. Cabeza o Escarpe

Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior del talud

### 4. Altura de Nivel Freático

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

## **5. 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.

Ejemplo: Pendiente:  $45^{\circ}$ , 100%, o 1H: 1V.

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.

### **2.3 FUNDAMENTOS SOBRE DESLIZAMIENTOS.**

Los movimientos en masa son procesos de la Geodinámica Externa, los cuales modifican las diferentes formas del terreno. Los deslizamientos a su vez, son la principal manifestación de los movimientos en masa. Los deslizamientos, como todos los movimientos en masa, involucran el movimiento, pendiente abajo, de los materiales que componen la ladera bajo la influencia de la gravedad y pueden ser disparados por lluvias, sismos y actividad humana.

**FIGURA II - 4**



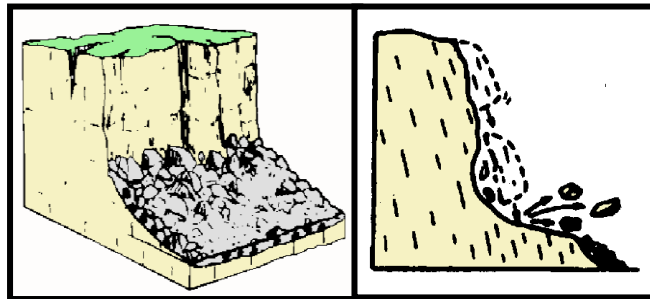
**Deslizamiento Arancibia (1993) (foto R. Mora)**

#### **2.3.1 TIPOS DE MOVIMIENTOS.**

Los deslizamientos pueden ocurrir como: caídas, basculamientos, separaciones laterales, deslizamientos o flujos.

**Caídas:** masas desprendidas de pendientes muy fuertes o escarpes, que se mueven en caída libre, dando tumbos (saltos) o ruedan ladera abajo (Fig. II-5).

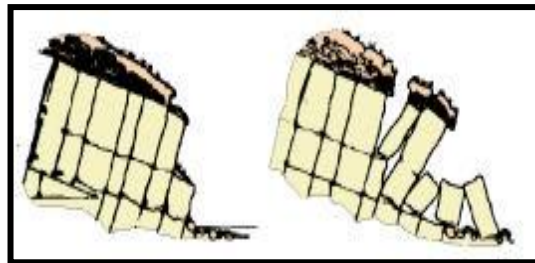
FIGURA II - 5



Caída de rocas (Varnes, 1978).

**Basculamientos:** rotación de uno o más elementos alrededor de un punto pivote (Fig.II-6).

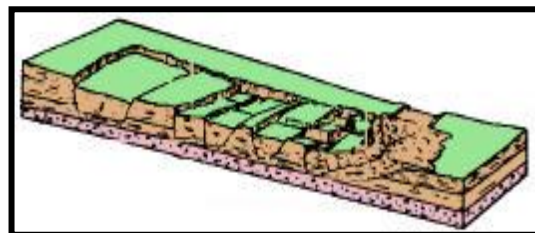
FIGURA II - 6



Basculamiento de columnas de roca

**Separaciones laterales:** movimiento de extensión lateral acompañado por fracturamiento cortante o tensional (Fig. II-7).

FIGURA II - 7

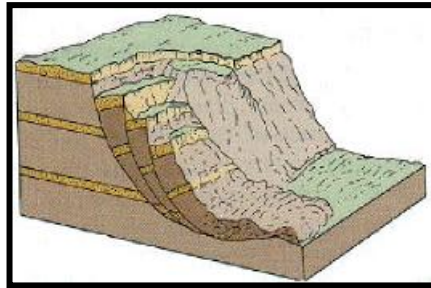


Separación lateral

**Deslizamientos:** desplazan masas a lo largo de uno o más planos discretos. Pueden ser rotacionales o traslacionales en su movimiento.

El movimiento rotacional se da donde la superficie de ruptura es curva, la masa rota hacia atrás alrededor de un eje paralelo a la ladera (Fig. II-8).

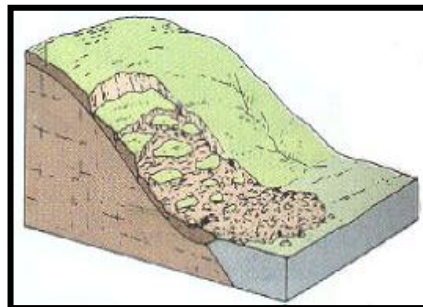
FIGURA II -8



Deslizamiento rotacional (Skinner & Porter, 1992)

El movimiento translacional se da cuando la superficie de ruptura es más o menos planar o suavemente ondulante y la masa se mueve paralela a la superficie del terreno (Fig. II-9).

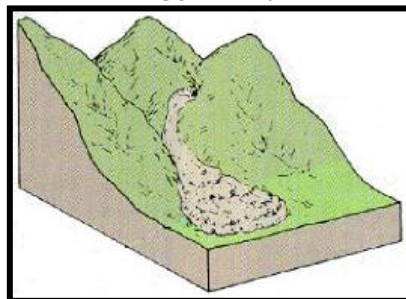
FIGURA II -9



Deslizamiento translacional (Skinner & Porter, 1992)

*Flujos*: masas que se mueven como unidades deformadas, viscosas, sin un plano discreto de ruptura (Fig. II-10).

FIGURA II -10



Flujo de detritos (Skinner & Porter, 1992)

Algunos deslizamientos pueden presentar más de un tipo de movimiento, en este caso se describen como complejos.

## **2.3.2 LAS PARTES DE UN DESLIZAMIENTO.**

### **2.3.2.1 NOMENCLATURA DE LOS DESLIZAMIENTOS.**

Debido a que un deslizamiento involucra una masa de suelo o roca moviéndose ladera abajo, este puede ser descrito con base en las diferencias entre la masa que forma el deslizamiento y la ladera que no ha fallado. La ladera que no ha fallado se puede definir como la superficie original de terreno. Esta es, a su vez, la superficie que existía antes de que el movimiento se diera (Fig. II-11). Si esta es la superficie de un deslizamiento antiguo, el hecho debe resaltarse, pues se trata de una reactivación del deslizamiento

**FIGURA II -11**



**Superficie original del terreno.**

La masa que se ha movido se conoce como el material desplazado, es decir, es el material que se ha movido de su posición original en la ladera. El mismo puede encontrarse en un estado deformado o no deformado (Fig. II-12).

El material desplazado sobreyace dos sectores distintos. El sector de pérdida es el área dentro de la cual el material desplazado descansa bajo la superficie original del terreno y está definido por la superficie de ruptura (Fig. II-13). En el caso de que no quede material sobre la superficie de ruptura o donde ha ocurrido flujo en vez de ruptura, es más conveniente utilizar el término área fuente. El sector de acumulación es el área donde el material desplazado descansa sobre la superficie del terreno (Fig. II-13). Este sector es definido por la superficie de separación subyacente, la cual separa el material desplazado del material estable, en el cual no se ha desarrollado ruptura alguna.

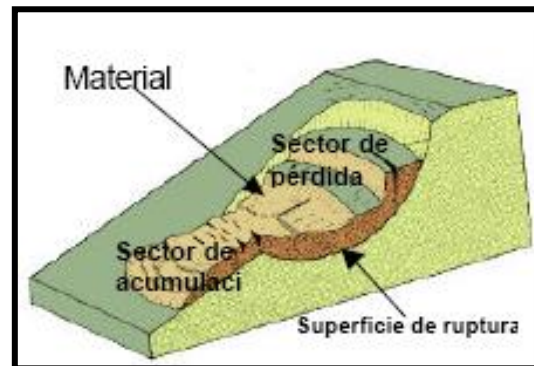
En algunas ocasiones es mejor llamar a este sector área de depositación

FIGURA II – 12



Material desplazado en estado deformado

FIGURA II-13



Nomenclatura de un deslizamiento (Varnes, 1978)

**Corona:** sector de la ladera que no ha fallado y localizada arriba del deslizamiento. Puede presentar grietas, llamadas grietas de la corona.

**Escarpe principal:** Superficie de pendiente muy fuerte, localizada en el límite del deslizamiento y originada por el material desplazado de la ladera. Si este escarpe se proyecta bajo el material desplazado, se obtiene la superficie de ruptura.

**Escarpe menor:** Superficie de pendiente muy fuerte en el material desplazado y producida por el movimiento diferencial dentro de este material.

**Punta de la superficie de ruptura:** La intersección (algunas veces cubierta) de la parte baja de la superficie de ruptura y la superficie original del terreno.

**Cabeza:** La parte superior del material desplazado a lo largo de su contacto con el escarpe principal.

**Tope:** el punto más alto de contacto entre el material desplazado y el escarpe principal.

**Cuerpo principal:** La parte del material desplazado que sobre la superficie de ruptura localizada entre el escarpe principal y la punta de la superficie de ruptura.

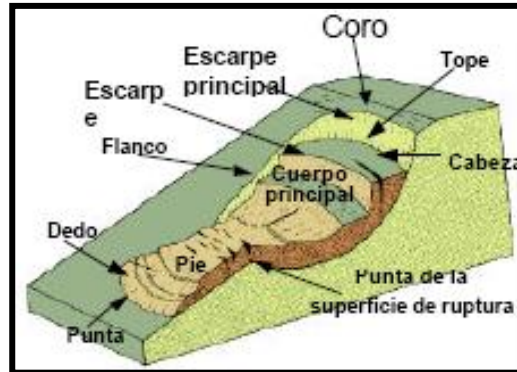
**Flanco:** Lado del deslizamiento

**Pie:** La porción de material desplazado que descansa ladera abajo desde la punta de la superficie de ruptura

**Dedo:** El margen del material desplazado más distante del escarpe principal.

**Punta:** El punto en el pie más distante del tope del deslizamiento.

FIGURA II-14



Partes de un deslizamiento (Varnes, 1978).

### 2.3.3 OTRAS CARACTERÍSTICAS DE UN DESLIZAMIENTO.

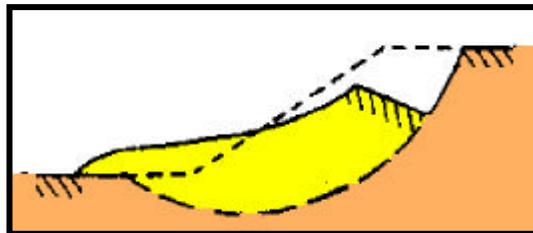
Algunas veces se torna necesario describir el crecimiento de un deslizamiento. Se sugieren algunos términos en función de cómo la ruptura se propaga en relación con la dirección de movimiento.

**Ruptura retrogresiva:** Ampliación del deslizamiento en la dirección opuesta a su movimiento

**Ruptura en avance:** Ampliación del deslizamiento en la dirección del movimiento. Donde la ampliación se da en ambas direcciones, se utiliza el término progresivo.

**Movimiento simple:** Movimiento rotacional o translacional de una masa individual a lo largo de una superficie de ruptura particular (Fig. II-15).

FIGURA II-15

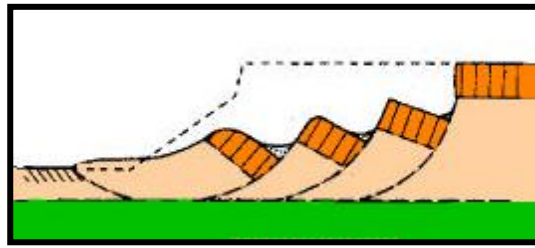


Movimiento simple (Hutchinson, 1968).

**Movimiento múltiple:** Una o más masas con el mismo tipo de movimiento a lo largo de dos o más superficies de ruptura distintas (Fig. II-16).



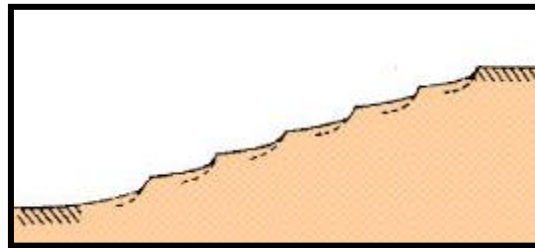
FIGURA II-16



Movimiento múltiple (Hutchinson, 1968).

Si un movimiento múltiple se desarrolla a lo largo de un período de tiempo, se utiliza el término movimiento sucesivo (Fig. II-17).

FIGURA II-17



Movimiento sucesivo (Hutchinson, 1968).

## 2.4 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ESTABILIDAD.

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

### 2.4.1 CONCEPTUALIZACIÓN DE SUELOS ESTABLES E INESTABLES.

#### 2.4.1.1 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.

#### **2.4.1.2 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.

### **2.4.2 DESCRIPCIÓN DE FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD DE UN TALUD**

#### **2.4.2.1 FACTOR AGUA.**

El agua es uno de los factores mas 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 deposito 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.

#### **2.4.2.2 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 si 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.

#### **2.4.2.3 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.

#### **2.4.2.4 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 II - 18

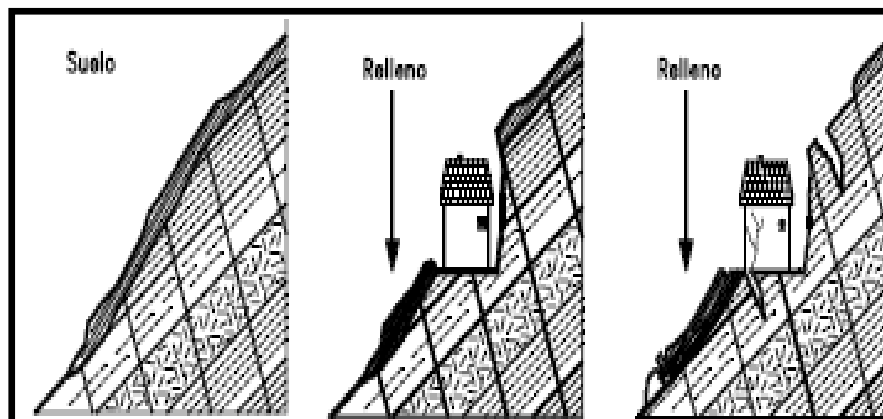


FIGURA II - 19



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

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.

## 2.5 CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES DEL SUELO.

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

### 2.5.1 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 ASTM 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:

CUADRO N° II-1

| Granulometría  |                 |
|----------------|-----------------|
| Partícula      | Tamaño          |
| Arcillas       | < 0,002 mm      |
| Limos          | 0,002 - 0,06 mm |
| Arenas         | 0,06 - 2 mm     |
| Gravas         | 2 mm - 6 cm     |
| Cantos Rodados | 6 - 25 cm       |
| Bloques        | > 25 cm         |

Denominación de los suelos según el tamaño de sus partículas

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

Estos son algunos de los aspectos generales para tomar en cuenta en todo esto que significa la granulometría de los suelos.

### **2.5.2 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:

CUADRO II - 2

| 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.

### 2.5.3 SENSITIVIDAD.

La sensibilidad, en suelos se puede definir como la relación de la resistencia pico al corte entre una muestra inalterada y otra remoldeada.

En algunos suelos arcillosos esta relación puede ser hasta de 4, lo que quiere decir que se pierde gran parte de la resistencia del suelo al re moldearse, lo que cabe destacar es que por historia se conoce de casos de catástrofe, donde por la acción del cambio de esfuerzos, el suelo se remoldea in situ, perdiendo su resistencia y provocando de esta forma los deslizamientos.

### 2.5.4 EXPANSIVIDAD.

Una forma de poder explicar la expansividad, es que los suelos arcillosos al ponerlos en contacto con el agua expanden su volumen produciéndose movimientos de extensión dentro de la masa del suelo. En suelos sensitivos se puede producir una perdida de resistencia al corte por la acción del remoldeo debido al proceso expansivo.



La expansividad de un suelo se puede medir por medio de ensayos de presión de expansión o expansión libre o por su relación con los límites de plasticidad.

La expansividad en los suelos arcillosos, en los rellenos de juntas, puede generar deslizamientos de suelos rocosos.

#### **2.5.5 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.

#### **2.5.6 RESISTENCIA AL CORTANTE.**

La resistencia al cortante, representa la modelación física del fenómeno de deslizamiento.

Los parámetros del ángulo de fricción y cohesión determinan el factor de seguridad al deslizamiento de una determinada superficie dentro del terreno.

Para la mayoría de los trabajos de rutina, los parámetros de resistencia al corte de un suelo (es decir,  $c$  y  $\phi$ ) son determinados por medio de dos pruebas estándar de laboratorio. Los principales ensayos son:

- Corte directo
- Compresión confinada o Triaxial
- Compresión no confinada o Compresión simple CNC

##### **2.5.6.1 COMPRESIÓN NO CONFINADA O COMPRESIÓN SIMPLE CNC**

Se utiliza en suelos cohesivos y granulares finos.

- Presión atmosférica rodea al suelo

- Requiere muestras inalteradas

### 2.5.7 ÁNGULO 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 (Bitz, 1995) 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.

La manera de representar el coeficiente de rozamiento es como sigue:

Coeficiente de rozamiento =  $\tan \Phi$ .

### 2.5.8 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 mas 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.



## **CAPÍTULO III**

### **ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN TALUD**

#### **3.1.-ESTABILIDAD DE TALUDES**

El principal problema que se plantea a la hora de proyectar cualquier tipo de explanación es asegurar la estabilidad de sus taludes, ya que las características resistentes en ese suelo de nada servirán si se producen continuos deslizamientos que pongan en peligro la funcionalidad a las carreteras a las que sirven de soporte.

Parece claro que la estabilidad de un talud depende tanto de su geometría pendiente, y altura, como las propiedades intrínsecas de propio suelo que lo forma, ángulo de rozamiento interno y cohesión.

En este sentido, un suelo sin cohesión por ejemplo una arena limpia y seca será estable siempre y cuando su ángulo de rozamiento interno sea superior al ángulo que forma el talud con la horizontal. En suelos cohesivos este valor aumenta dado que a la fuerza de rozamiento interno que se opone al movimiento se suma la producida por la cohesión entre las partículas del suelo.

##### **3.1.1.-MODELOS DE DELIZAMIENTO**

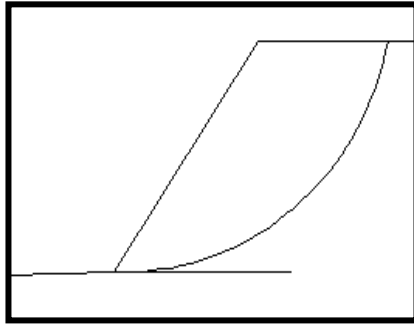
El deslizamiento de un talud se produce por la rotura y posterior desplazamiento de una cuña de suelo a lo largo de un plano de debilidad, lo que ocasiona un desmoronamiento total o parcial de dicho talud. Las causas que producen este deslizamiento son muy diversas como filtraciones de agua, vibraciones, socavaciones lo que hace difícil su encuadre analítico.

El Ingeniero Sueco Pettersson, tras estudiar con detenimiento este problema, concluyo que el deslizamiento de un suelo se produce a lo largo de una superficie de curvatura variable, que posteriormente asimilo a un arco de circunferencia dado su mayor simplicidad de cálculo. En honor a la nacionalidad a su descubridor, estas superficies de rotura reciben en nombre de círculos suecos.

Este modelo general de rotura presenta diversos matices en función del tipo de suelo y de la geometría del talud, pudiéndose distinguir los siguientes casos.

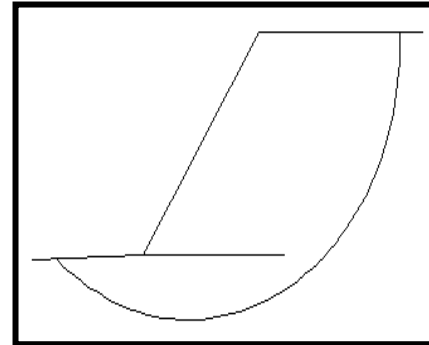
- a) **Círculo superficial de pie:** La superficie de deslizamiento pasa por el pie del talud, siendo este el punto mas bajo de la misma. Este tipo de rotura se produce en suelos con alto ángulo de rozamiento interno como gravas y arenas fundamentalmente o en taludes muy inclinados.
- b) **Círculo profundo:** En este caso, la superficie de rotura pasa por debajo del pie del talud. Seda con asiduidad en taludes tendidos, valores bajos, de ángulo que forma el talud con la horizontal o formados por suelos de bajo rozamiento interno como arcillas o limos.
- c) **Círculo profundo de pie:** Al igual que ocurría en el primer caso la superficie de deslizamiento intersecta con el pie del talud, aunque en esta ocasión no se trata de un punto mas bajo. Se plantea como una situación intermedia entre las dos anteriores.
- d) **Círculo Condicionado:** La presencia de estratos más duros o de diversos elementos resistentes como muros, pilotes, edificaciones, rellenos, etc. En las proximidades del talud condiciona la magnitud y profundidad de la superficie de rotura.

FIGURA III- 1



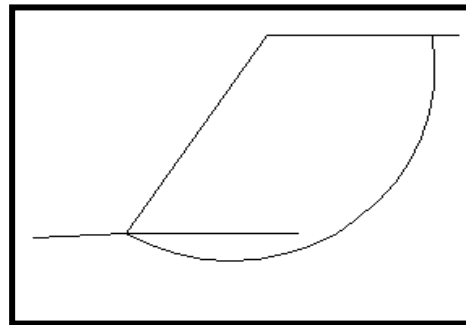
CÍRCULO SUPERFICIAL DE PIE  
(Suelos granulares o taludes inclinados)

FIGURA III- 2



CÍRCULO PROFUNDO  
(Suelos cohesivos o taludes tendidos)

FIGURA III- 3



CÍRCULO PROFUNDO DE PIE  
(Caso intermedio)

### 3.2.-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.

### 3.3.-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 III-1**

| Método                                    | Superficies de Falla                      | Equilibrio  |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------|
| Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927) | Circulares                                | De Fuerzas  |
| Bishop simplificado (Bishop 1955)         | Circulares                                | De Momentos |
| Janbú Simplificado (Janbú 1968)           | Cualquier forma de la superficie de falla | De Fuerzas  |

**Fuente:** elaboración propia

El Factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cual es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para lo 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.

Los valores de factores de seguridad considerados por los métodos son los siguientes:



TABLA III-2

| FS             | SIGNIFICADO                             |
|----------------|-----------------------------------------|
| Menor que un 1 | Inseguro                                |
| 1.0 – 1.2      | Seguridad dudosa                        |
| 1.2 – 1.4      | Satisfactorio para cortes y terraplenes |
| 1.5            | Seguro para presas                      |

Fuente: Estabilidad y refuerzo de Taludes prof.  
German Crujar

### 3.4.-MÉTODOS DE LAS DOVELAS

Casi la totalidad de los métodos utilizados actualmente se basan en el denominado de las rebanadas (Fig. III-4), se propone un círculo de falla a elección y la masa de tierra deslizante se divide en rebanadas verticales. El número de dovelas o rebanadas es, hasta cierto punto, cuestión de elección, si bien, a mayor número, los resultados del análisis se hacen más confiables.

Calcular el equilibrio de cada una de ellas, y finalmente analizar el equilibrio global, obteniendo un Factor de Seguridad (FS) que se define como la relación entre fuerzas o momentos resistentes y fuerzas o momentos motores.

Se selecciona un círculo de desplazamiento de prueba con centro en O y de radio R (Fig. III-4) y, por A y B se divide en rebanadas de ancho b iguales.

Las fuerzas que actúan sobre una dovela son como sigue:

$W$  = Peso del cuerpo de la rebanada o dovela =  $\gamma h b$

$N'$  = Fuerza efectiva normal de reacción en la base de la dovela

$T$  = Fuerza cortante inducida a lo largo de la base =  $w \operatorname{sen} \alpha$

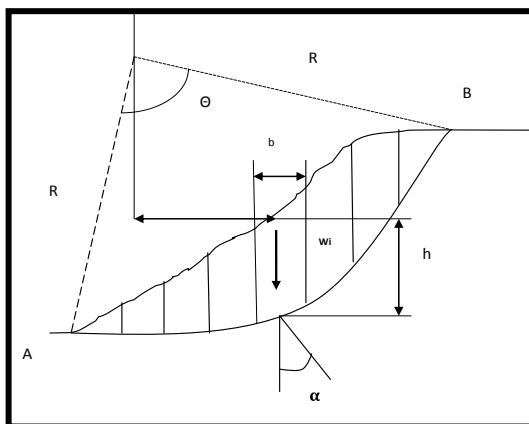
$R_1$  y  $R_2$  = Fuerzas impuestas en las caras laterales de las dovelas, provenientes de las

Dovelas adyacentes, que pueden resolverse en:

$E_1$  y  $E_2$  = Fuerzas normales interdovelas

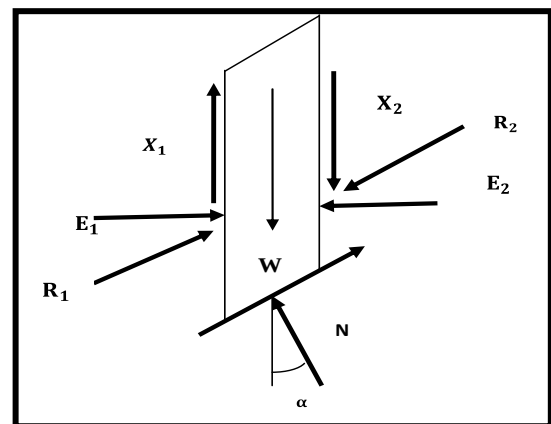
$X_1$  y  $X_2$  = Fuerzas tangenciales interdovelas

FIGURA III- 4



Análisis del método de dovelas

FIGURA III- 5



Análisis de las fuerzas que actúan en una dovela

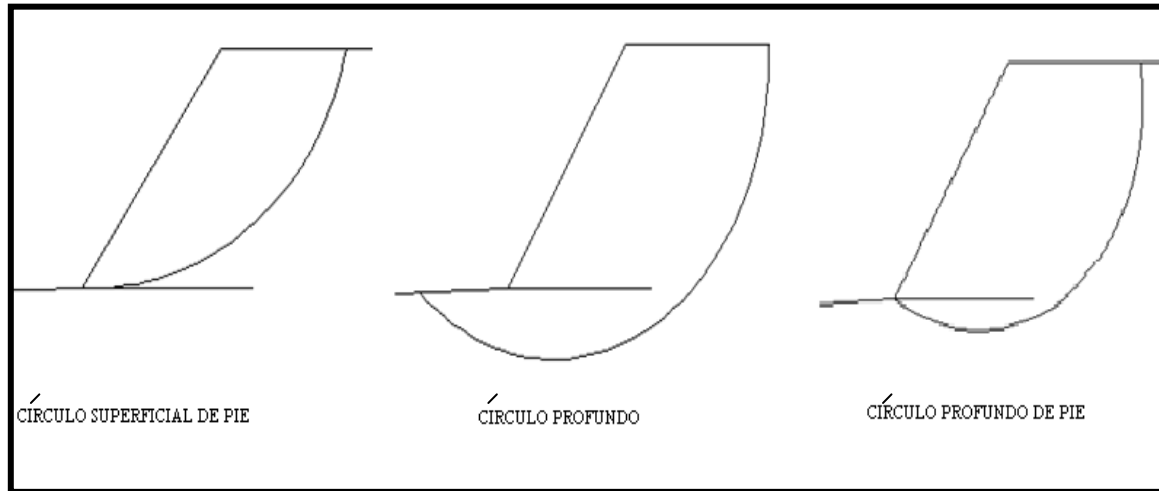
### 3.4.1.-ESTABILIDAD DE TALUDES SEGÚN FELLENIUS

Conocido también como método sueco, método de las Dovelas se comprenden todos los procedimientos de análisis de estabilidad respecto de falla por rotación, en los que se considera que la superficie de falla es un cilindro cuya traza con el plano en el que se calcula es un arco de circunferencia.

Este método consiste en:

- a) En primer lugar, se propone un círculo de falla a elección la cual puede ser por:

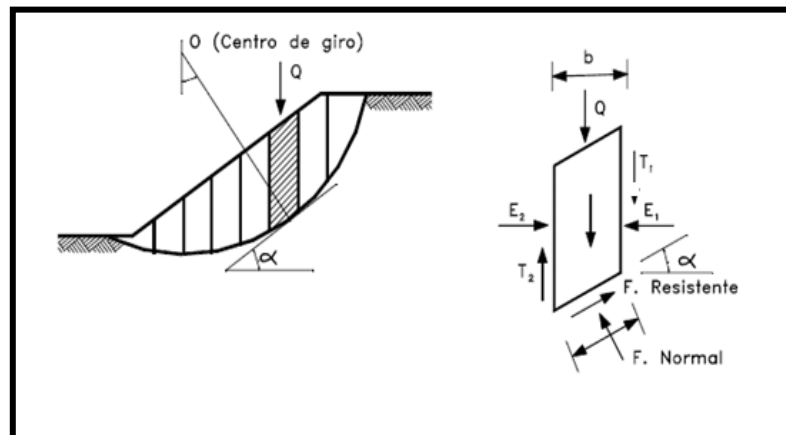
FIGURA III- 6



Nomenclatura de los círculos de falla

- b) Divide el área de falla en una serie de tajadas verticales o dovelas de cualquier espesor.
- c) Juárez y Rico (1989) en su libro Mecánica de Suelos Tomo II hace referencia a este tipo de definición, el número de dovelas es, hasta cierto punto, cuestión de elección, si bien, a mayor número, los resultados del análisis se hacen más confiables.
- d) Determinar las fuerzas que actúan en cada dovela o rebanada.
- e) Calcular los momentos resistentes y los momentos motores que actúan a lo largo de la superficie de falla.
- f) Calcular el F.S.

Figura III-7



Fuerzas que actúan sobre una dovela en los métodos de dovela

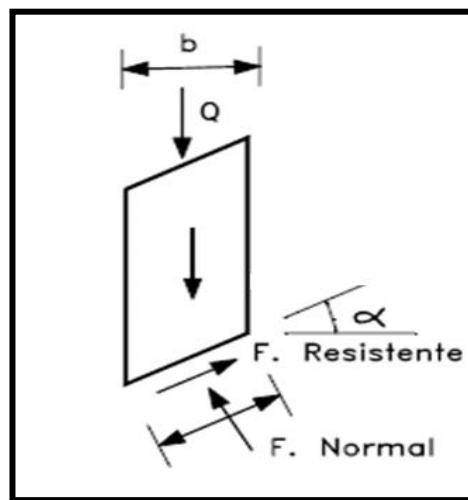
Fuerzas que se deben considerar según Fellenius.

El peso o fuerza de gravedad, la cual se puede descomponer en una tangente y una normal a la superficie de falla.

Las fuerzas resistentes de cohesión y fricción que actúan en forma tangente a la superficie de falla.

En el procedimiento de Fellenius se hace la hipótesis de que el efecto de las fuerzas  $E_1$  y  $E_2$  se contrarresta; es decir se considera que esas dos fuerzas son iguales, colineales y contrarias. También se acepta que el momento producido por las fuerzas  $T_1$  y  $T_2$  que se consideran de igual magnitud, es despreciable. Estas hipótesis equivalen a considerar que cada dovela actúa en forma independiente de las demás y que  $F$ . Normal y  $F$ . Resistente equilibran a  $W_i$ , pero sí son tenidas en cuenta en otros métodos de análisis más detallados.

FIGURA III-8



Fuerzas que actúan según Fellenius

El método de Fellenius calcula el Factor de seguridad con la siguiente expresión:

$$F.S. = \frac{\sum [c \cdot b \cdot \sec \alpha + (W \cdot \cos \alpha - ub \cdot \sec \alpha) \cdot \tan \theta]}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

Donde:

$\alpha$  = Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada.

$W$  = Peso total de cada tajada.

$u$  = Presión de poros =  $\gamma_w h_w$

$b$  = Ancho de la tajada

$C', \theta$  = Parámetros de resistencia del suelo.

La experiencia permite considerar a 1.2 como un valor de  $F_s$  compatible con una estabilidad práctica razonable. Debe, pues, de cumplirse para la superficie hipotética seleccionada, que:

$$F_s \geq 1.2$$

Por supuesto, no está de ningún modo garantizado que la superficie de falla escogida sea la que represente las condiciones más críticas del talud bajo estudio (círculo crítico). Siempre existirá la posibilidad de que el factor de seguridad resulte menor al adoptar otra superficie de falla. Este hecho hace que el procedimiento descrito, se torne un método de tanteos, según el cual deberán de escogerse otras superficies de falla de diferentes radios y centros, calcular su factor de seguridad asociado y ver que el mínimo encontrado no sea menor que 1.2, antes de dar al talud por seguro. En la práctica resulta recomendable, para fijar el  $F_{s\text{mínimo}}$  encontrar primeramente el círculo crítico de los que pasen por el pie del talud y después el crítico en falla de base; el círculo crítico del talud será el más crítico de esos dos.

### **3.4.2.- MÉTODO DE BISHOP.**

Puede ser aplicado solamente para superficies circulares o casi circulares, esto es, aquellas superficies que son consideradas como superficies de ruptura circulares adoptando un centro ficticio de rotación. El análisis sigue los mismos pasos del método de Fellenius.

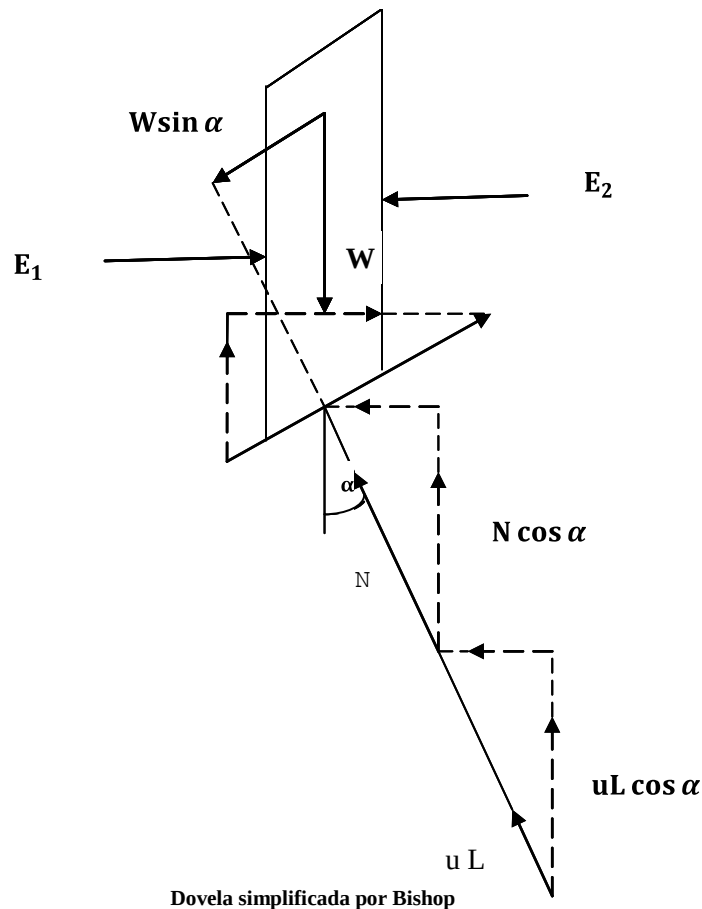
La hipótesis de Fellenius no se cumple normalmente en taludes con grandes presiones intersticiales ya que estas conducen a fuerzas en las caras verticales de rebanadas (dovelas) que tienden a estar horizontales, más que inclinadas según la línea de deslizamiento. Bishop (1955) propuso una variante al método de Fellenius en la que deja como incógnita las

componentes tangenciales,  $X_n$ , que actúan en las caras verticales de las rebanadas (dovelas), y calcula el coeficiente de seguridad en función de ellas.

Bishop propuso suponer que, inicialmente, todas las fuerzas  $X_n$ , son nulas (método simplificado) y después, mediante el cálculo iterativo, ir ajustando valores razonables de las fuerzas  $X_n$  tratando de cumplir el equilibrio horizontal que no se formulo para resolver el problema. Aun en el caso simple de suponer  $X_n = 0$  para todas las dovelas, resulta una ecuación implícita para el coeficiente de seguridad, que Bishop recomienda resolver también mediante iteraciones.

Dada una serie de valores de  $X_n$  (sean o no nulos), hay que hacer una serie de iteraciones que, como mas adelante será, puede presentar algún problema de unidad y/o en los resultados finales. Muy difícil es definir una serie de valores de  $X_n$  en las caras verticales entre dovelas, tratando de cumplir las condiciones de equilibrio horizontal. El problema general planteado por Bishop no tiene solución matemática.

FIGURA III-9



Entonces:

$$N' = \frac{W - \frac{C'}{F_s} - L \sin \alpha - uL \cos \alpha}{\cos \alpha + \frac{\tan \phi}{F_s} \sin \alpha}$$

Sustituyendo  $L = b \sec \alpha$  y  $N'$  y redondeando:

#### Ecuación simplificada de Bishop

$$F.S. = \frac{\sum \left[ C' \cdot b + \frac{W - u \cdot b \cdot \tan \theta}{ma} \right]}{\sum W \cdot \sin \theta}$$

Donde:

$$ma = \cos \alpha \left( 1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \theta}{F.S.} \right)$$

$b$  = Ancho de la Dovela.

$W$  = Peso de cada dovela.

$C', \theta$  = Parámetros de resistencia del suelo.

$u$  = Presión de poros en la base de cada dovela =  $\gamma_w \times h_w$

$\alpha$  = Angulo del radio y la vertical en cada dovela.

El procedimiento se inicia suponiendo un valor de prueba de  $F_s$ . en el miembro derecho de la ecuación para aplicar el método de aproximaciones sucesivas y converger el valor real de  $F_s$ . para un círculo de prueba determinado. Este es el procedimiento usual utilizado en los programas de computadoras. Los factores de seguridad obtenidos con este método puede ser un poco subestimados pero el error no excede de 3 % excepto en casos ocasionales y raros con círculos de falla base profunda y  $F_s$ . Menor a 1.2. Se dice que los valores menores del factor de seguridad más exacto, se obtienen mediante métodos que toman en cuenta la variación en las fuerzas de filtración sobre y debajo de dovela.

### 3.4.3.-ESTABILIDAD DE TALUDES SEGÚN 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, Janbú (1955) Propuso un método aplicable a líneas de deslizamiento de cualquier tipo de superficie (no necesita un centro de círculo para tomar momentos), que esta 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, Janbú 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, Janbú 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 Janbú no tiene solución matemática exacta. Ambos tienen soluciones ingenieriles aproximadas que no actúan el equilibrio horizontal (Bishop) o el equilibrio de momentos (Janbú).

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

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



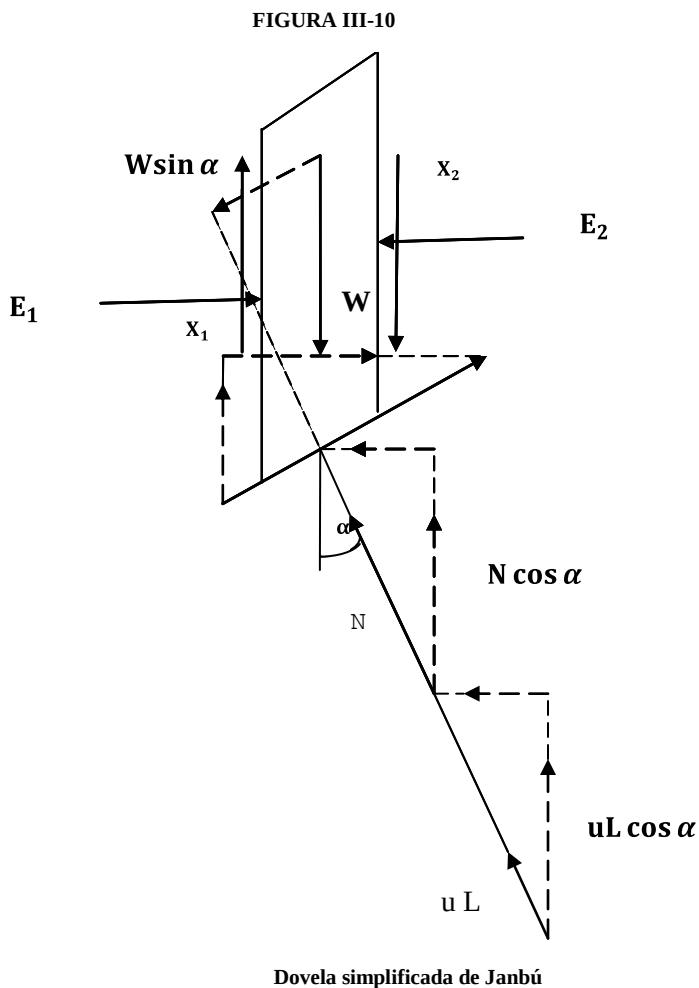
Donde:

$b$  = Áncho de la Dovela

$W$  = Peso de cada dovela

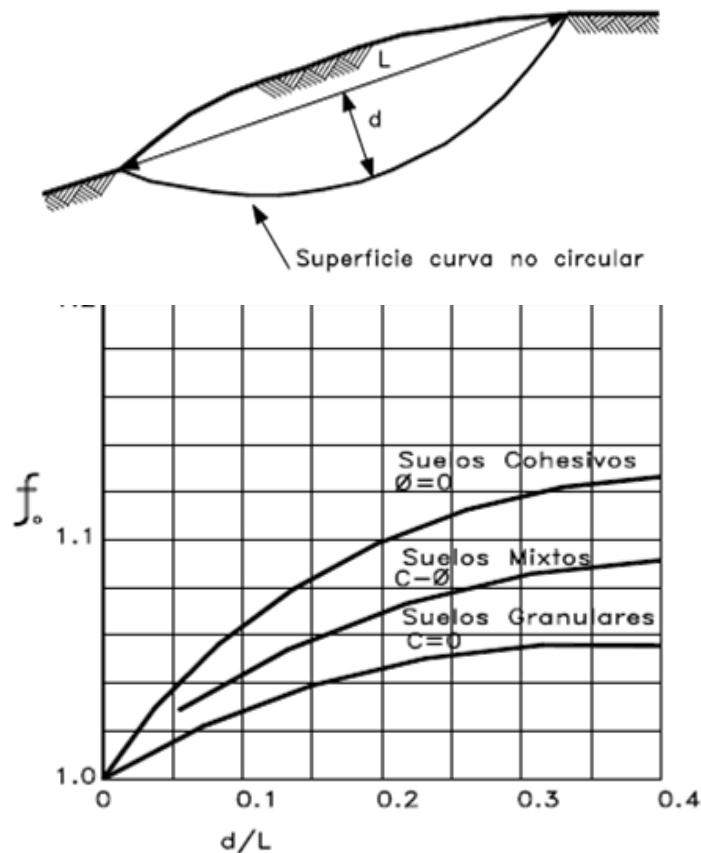
$C, \phi$  = Parámetros de resistencia del suelo cohesión y ángulo de fricción.

$\alpha$  = Ángulo del radio y la vertical en cada dovela.



Janbú 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. Así, si se usa la gráfica de la Fig III-10. Se debe aplicar un factor de corrección  $F_{\text{corregido}} = f_0 F_s$ . Donde  $f_0$  depende de la curvatura de la superficie de falla.

Figura III-11



### 3.5.-COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS

Los valores de factores de seguridad que se obtienen por estos métodos generalmente, difieren en forma importante de resultados utilizando procedimientos que que satisfacen el equilibrio, como son los métodos de Spencer y de Morgenstern-Price.

Aunque una comparación directa entre los diversos métodos no es siempre posible, los factores de seguridad determinados con el método de Bishop por aproximadamente 5% , mientras el método simplificado de Janbú generalmente, subestima el factor de seguridad hasta valores del 30%, aunque en algunos casos los sobrestima hasta valores del 5%, Esta aseveración fue documentada por Fredlund y Krahn (1977), otros autores concluyen que el método de Fellenius puede originar graves errores, hasta de un 40 %.

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 F.S. Por las razones anteriores se prefieren métodos más sencillos pero más fáciles de manejar como son los métodos simplificados de Bishop o de Janbú.

**TABLA III-3**

**Comparación entre los métodos de Fellenius, Bishop y Janbú**

| Método                                    | Superficies de Falla                      | Equilibrio  | Características                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927) | Circulares                                | De Fuerzas  | Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Factores de seguridad bajos. |
| Bishop simplificado (Bishop 1955)         | Circulares                                | De Momentos | Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobre determinada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.                                                                                                                    |
| Janbú Simplificado (Janbú 1968)           | Cualquier forma de la superficie de falla | De Fuerzas  | Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobre determinada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección $F_0$ para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.         |

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.6.-MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

#### 3.6.1.- LA HIDROSIEMBRA

La Hidrosiembra es una técnica que consiste en la proyección a presión sobre la superficie del talud o ladera de una mezcla de agua, semillas, fertilizantes, mulch, estabilizadores y fijadores, para poder fijar las semillas y el mulch al terreno en este caso al talud o ladera, utilizando equipos de bombeo a presión.

En cuanto a la utilización de las semillas y el tipo de mezcla a utilizar, se debe tener muy en cuenta las características de la zona (naturaleza del suelo, orientación, clima, vegetación autóctona, etc.).

Su principal dificultad es la susceptibilidad al desprendimiento y arrastre por acción de las lluvias de gran intensidad o la escorrentía. Se requiere una superficie rugosa que facilite la adherencia y un suelo que facilite el establecimiento de vegetación.

Especificaciones del método, pendiente recomendada  $45^\circ$ , precipitación optima  $> 400$  mm/ año, Temperatura ( $6^\circ < t^\circ < 45^\circ$ ), no recomendado para material netamente granular.

## VENTAJAS DE LA HIDROSIEMBRA

- ✓ La Hidrosiembra es un tipo de actuación que se realiza en aquellas zonas donde existe un riesgo potencial de erosión y donde no pueden ser utilizados las técnicas convencionales de siembra, debido a la dificultad de acceso o las fuertes pendientes.
- ✓ Con este método se pueden alcanzar grandes alturas en taludes difícilmente accesibles.
- ✓ Distribución uniforme de la semilla, fertilizantes y mulch, desarrollando una adecuada cubierta vegetal
- ✓ Rápida germinación
- ✓ Versatilidad, facilidad de sembrar en áreas difíciles, irregulares, taludes, bermas y franjas angostas
- ✓ Aplicación de mezcla de semilla adaptadas a los distintos tipos de suelos clima y/o exposición solar
- ✓ Aplicación en un corto tiempo, evitando la erosión de la superficie tratada a las pocas horas de ser aplicada la Hidrosiembra

### **3.6.2.-PROTECCIÓN CONTRA DESPRENDIMIENTOS (BARRERAS).**

Estas barreras denominadas antidesprendimientos se están convirtiendo en uno de los sistemas más eficaces tanto técnica como económicamente, para proteger vías de comunicación y demás infraestructuras de los desprendimientos que se producen en áreas grandes, donde una actuación directa resulta mucho más costosa.

La evolución de estas barreras ha sido notable, desde la tradicional barrera fija hasta las actuales pantallas dinámicas de alta absorción de energía, que son capaces de soportar y disipar impactos de piedra de hasta 5000 Kg. debido a la deformación de sus elementos.

Después de este análisis se podrá elegir el tipo de barrera que será necesario instalar, ya sean estas barreras fijas o barreras dinámicas.

FIGURA III-12



Barreras (Protección contra desprendimientos)

FIGURA III -13



Disposición de las barreras

### 3.6.3.-BARRERAS FIJAS.

Se denomina barrera fija o estática a un conjunto de elementos que se emplean para detener los desprendimientos de macizos rocosos de baja energía de impacto.

Las barreras fijas o estáticas son barreras de baja absorción de energía de impacto, comportándose de forma acertada hasta un máximo de 150 KJ de energía y se instalan en lugares donde la energía prevista de posibles desprendimientos es reducida o mínima.

Este tipo de barreras son de fácil instalación, puesto que solo se requiere de una malla galvanizada que puede ser de simple, doble o triple torsión o también revestida con PVC, además de postes de sujeción que son de acero empotrados en base de hormigón.

FIGURA III -14



Disposición de barreras fijas al pie de un talud.

FIGURA III - 15



Disposición de barreras fijas en el cuerpo de un talud.

**Las barreras fijas**, no tienen margen para estirarse, es decir que no son flexibles y no pueden amortiguar el esfuerzo de caída, además tienen especificaciones más sencillas, las mismas se detallan a continuación:

- ✓ Soportan una energía máxima de 150 KJ (Kilo Jules).
- ✓ Selección del perfil de los postes metálicos y separación de los mismos.
- ✓ No recomendable su emplazamiento o construcción en taludes con suelo de granulometría fina.

#### **3.6.4.-BARRERAS DINAMICAS.**

Las barreras o pantallas dinámicas son aquellas que absorben la energía de impacto mayores a 150 KJ de una roca mediante la deformación de sus elementos (paneles de malla, de cable, disipadores o frenos, etc.), pudiendo soportar sin problemas energías de impacto hasta un máximo de 3000 KJ.

El proceso de construcción de una barrera precisa además de la tarea de diseño y simulación teórica, la realización de pruebas de impacto de rocas a escala real que bajo ciertas condiciones garanticen la capacidad de absorción de energía para las que han sido diseñadas, sin que se produzcan daños importantes en la estructura.

**FIGURA III – 16**



**Disposición de barreras dinámicas**

**FIGURA III - 17**



**Rocas de gran tamaño soportadas por barreras dinámicas**



**Las barreras dinámicas** están hechas de malla hexagonal o romboidal, pero a diferencia de las estáticas estas últimas son flexibles y pueden amortiguar y soportar los esfuerzos. Las especificaciones de esta tecnología se detallan a continuación:

- ✓ Soportan una energía máxima de 150 a 3000 KJ (Kilo Jules).
- ✓ Su construcción se limita solo para suelos granulares, volviéndolos inadecuados para taludes con suelos finos.
- ✓ Selección del perfil de los postes metálicos y separación de los mismos.

### 3.6.5.-MALLA DE TRIPLE TORSIÓN.

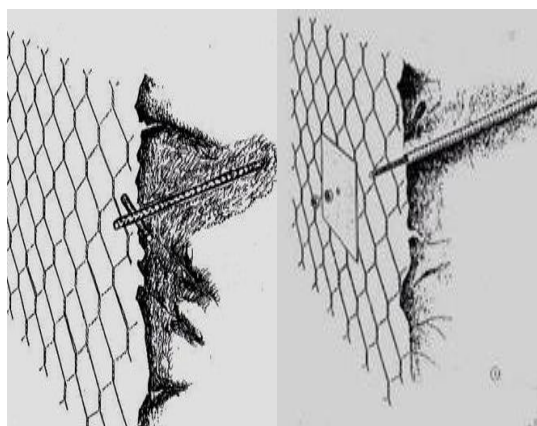
Es una alternativa, ya que en los problemas mas graves que presentan las autopistas, carreteras y zonas urbanas la malla de triple torsión clase III ofrece seguridad al usuario al proteger los taludes ya que el desprendimiento de material suelto y la gran cantidad de derrumbes . **La colocación de malla** galvanizada clase III de Triple Torsión, escuadrilla de 8 x 10 cm de abertura, calibre 12.5 y 10 en las aristas y malla hexagonal (gallinero) de 25 mm de abertura, calibre 20 galvanizada. Para mantenerlas en posición se colocaran anclas de varilla corrugada de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro en forma de "T" en la parte superior por 1.00 m de profundidad, ahogadas con cemento arena en los barrenos previamente hechos; dicha malla cubrirá aproximadamente 2.00 m hacia adentro a partir de los ceros del corte. La malla se doblara hacia el exterior en un ancho de 50 cm en los extremos superior e inferior y se coserá a lomo.

FIGURA III-18



Dobles de la Malla hacia el exterior 50 cm.

FIGURA III-19



Anclaje con varillas en forma de "T"  
Anclaje con placa de acero

Estos enmallados, se los construye con malla hexagonal o romboidal flexible, pero estas se sujetan al talud mediante anclajes de por lo menos un metro de longitud. Sus especificaciones son las que a continuación se muestran:

- ✓ Soportan un esfuerzo máximo de  $200\text{KN/m}^2$ .
- ✓ Soportan taludes altos y verticales, aunque no se los recomienda para taludes negativos.
- ✓ No se recomienda su utilización para zonas en donde la precipitación hace que el material se transforme en lodo, es decir que no se recomienda su uso para taludes con suelos finos.

### **3.6.6.-ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN O ANCLAJE.**

#### **3.6.6.1.-MUROS RÍGIDOS.**

Son estructuras rígidas, que generalmente se las hace de concreto, su principal función es la de soportar grandes deformaciones sin romperse, se sustentan sobre suelos competentes para poder transmitir esfuerzos desde su cimentación hasta el propio cuerpo del muro para generar fuerzas de contención.

Dentro de los muros rígidos, encontramos tres tipos de muros que son comúnmente conocidos: **muros reforzados, muros de concreto simple y los muros de concreto ciclópeo.**

#### **3.6.6.2.-MURO REFORZADO.**

Las estructuras de concreto reforzado resisten las presiones de la masa de suelo o tierra actuantes sobre el muro.

Existen los diferentes tipos de muro reforzado:

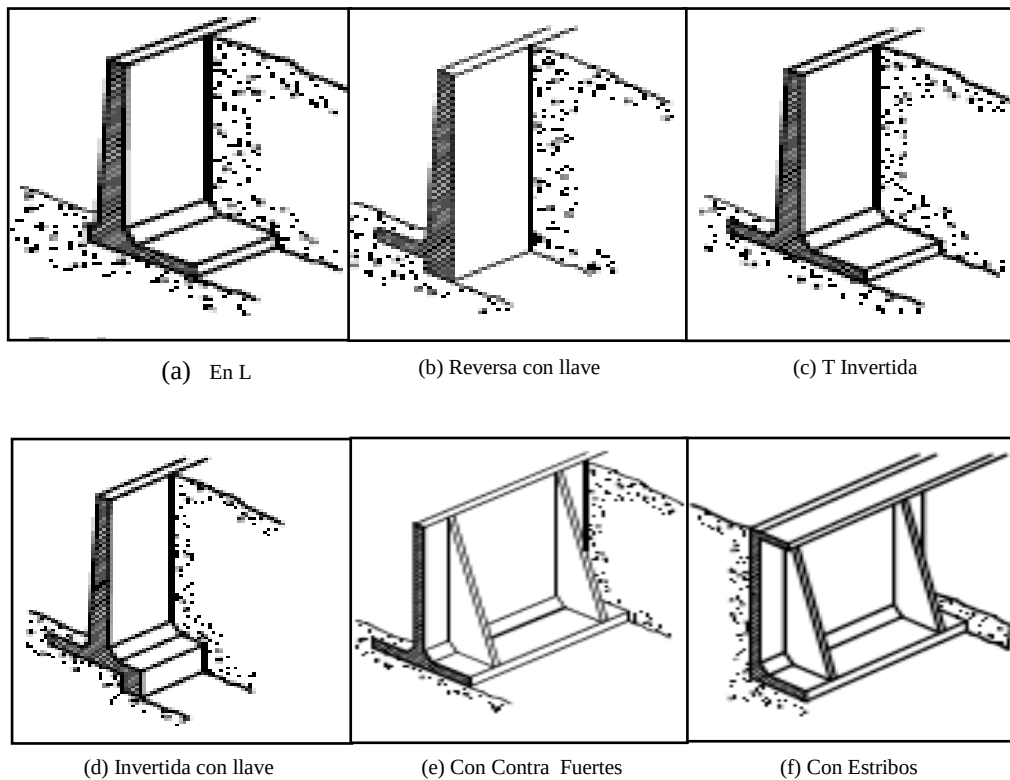
- \_ Muros empotrados o en voladizo: contruidos en forma de L o T invertida, compuestos por una placa monolítica semivertical o inclinada con otra placa en la base (Fig. (a,c)).



- \_ Muros con contra fuertes: Son aquellos en los cuales la placa vertical o inclinada está soportada por contrafuertes monolíticos que le dan mayor rigidez y colaboran con la transmisión de carga a la placa de cimentación (Fig (e)).
- \_ Muros con estribos: los cuales además de presentar la placa vertical, la de cimentación y los contrafuertes presenta también una placa sub.-horizontal que aumentan la rigidez y capacidad para soportar momentos.

Cabe destacar que en una mayoría de casos se colocan llaves o espolones de concreto debajo de la placa de cimentación para mejorar de una manera la resistencia al deslizamiento (Fig (b,d)).

FIGURA III - 20



**Tipos de muros de contención en concreto armado**

Estos muros son económicos y viables hasta alturas de 8 m, para alturas mayores a esta los muros se vuelven muy costosos, puesto que mientras más alto el muro, mayor espesor se debe utilizar en la placa semivertical.

Sus principales ventajas radican en que se utilizan métodos convencionales para su construcción, además se los puede emplear en alturas más o menos grandes, superiores incluso a los 10 m. Aplicado en la corrección de deslizamientos rotacionales de poca altura menor a 8m en suelos y deslizamientos traslacionales en suelos ; involucrando materiales como arcillas y coluviales. Las desventajas del concreto armado son que requieren de un buen terreno para su fundación, además de esto son antieconómicas en alturas muy grandes necesitando también de formas especiales, y son poco efectivos con deslizamientos de grandes masas de suelo debido a su poco peso propio.

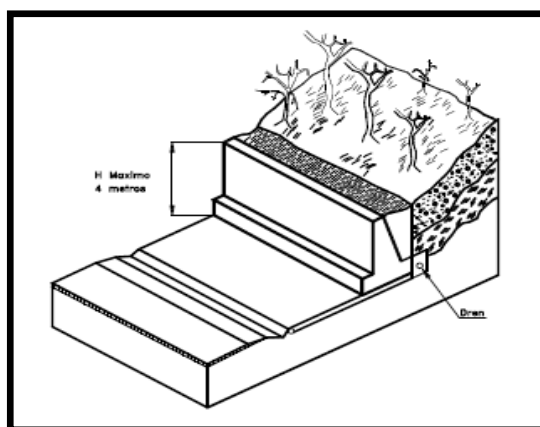
### **3.6.6.3.-MURO DE CONCRETO SIMPLE.**

Los muros de concreto simple son enormes masas de concreto que trabajan como estructuras rígidas y actúan como estructuras de peso o gravedad, no se recomienda su uso o empleo para alturas mayores a los 6 m debido al aumento en su costo y también a que este muro no puede soportar la presencia de esfuerzos de flexión provocando que exista roturas en la parte inferior del muro o dentro del propio cimiento.

Son relativamente fáciles de construir, pudiendo incluso adoptar formas curvas o cualquier otra forma de acuerdo a la necesidad.

Son aplicados como muro flexible de retención de masas de tierra, como prevención de socavación en la pata de los taludes, Aplicado en la corrección de deslizamientos rotacionales de poca altura menor a 9m por causas como la litología débil en suelos y deslizamientos traslacionales, en suelos como arcillas y en suelos residuales.

**FIGURA III - 21**



**Muro de concreto simple o sin refuerzo**

Su desventaja es que se vuelve antieconómico para alturas de más de tres metros, necesita de una buena fundación y un tiempo de curado para un trabajo efectivo y no soporta deformaciones importantes.

#### **3.6.6.4.-MURO DE CONCRETO CICLOPEO.**

Este tipo de muro es una mezcla de concreto con cantos o bloques de roca dura, en la mayoría de los casos se utilizan mezclas de 60% de concreto y 40% de piedra, pero hay que tomar en cuenta que a mayor cantidad de piedra existe una mayor posibilidad de agrietamiento del muro por la presencia de zonas de debilidad estructural interna.

Se los construye de manera similar a los de concreto simple, con la diferencia de que se utilizan cantos rodados de piedra como material, haciendo posible la disminución de los volúmenes de concreto y el ahorro económico en su construcción.

Son aplicados como muro flexible de retención de masas de tierra, como prevención de socavación en la pata de los taludes. Aplicado en la corrección de deslizamientos rotacionales de poca altura menor a 9m por causas como la litología débil, y en suelos como arcillas y en suelos residuales.

La desventaja del concreto ciclópeo (cantos de roca y concreto) es que no pueden soportar esfuerzos muy grandes de flexión.

#### **3.6.6.5.-MUROS MASIVOS FLEXIBLES.**

Son estructuras que se adaptan de manera flexible a cualquier tipo de movimiento, haciendo que su efectividad este en función directa de su peso y de la capacidad de soportar las deformaciones producidas por las cargas a las que será sometida sin que se rompa su estructura.

Dentro de los diversos tipos de muros flexibles tenemos de manera general los siguientes: **gaviones, cribas, llantas (neusol) y piedras o pedraplenes.**

### **3.6.6.6.-GAVIONES.**

Los gaviones son elementos constructivos constituidos por paralelepípedos o “cajas” de malla metálica rellenos con piedras o rocas de pequeño tamaño. Son utilizados para la conformación de muros y revestimientos, son muros flexibles que pueden soportar asentamientos diferenciales mayores que cualquier otro tipo de muros además es de fácil reparación.

Su construcción es económica y sencilla, son una de las soluciones para las presiones de agua y soportan además los movimientos sin perder su eficiencia y no requiere de mano de obra especializada.

Para la construcción de los gaviones, se emplean tres tipos de malla diferentes, las hexagonales o de triple acción, la malla electro soldada y la elaborada simple.

Las desventajas del gavión se encuentran sobre todo en la malla que es de acero galvanizado, que se oxida con mucha facilidad en ambientes ácidos, además requiere para su construcción de cantos o bloques de roca muchas veces no disponible en el propio lugar, no tienen mucha vida útil, su implementación esta en función de la profundidad de socavación y no se da importancia al método o forma de amarre de la malla y cajas, es decir que no existe un buen control de calidad.

### **3.6.6.7.-CRIBAS.**

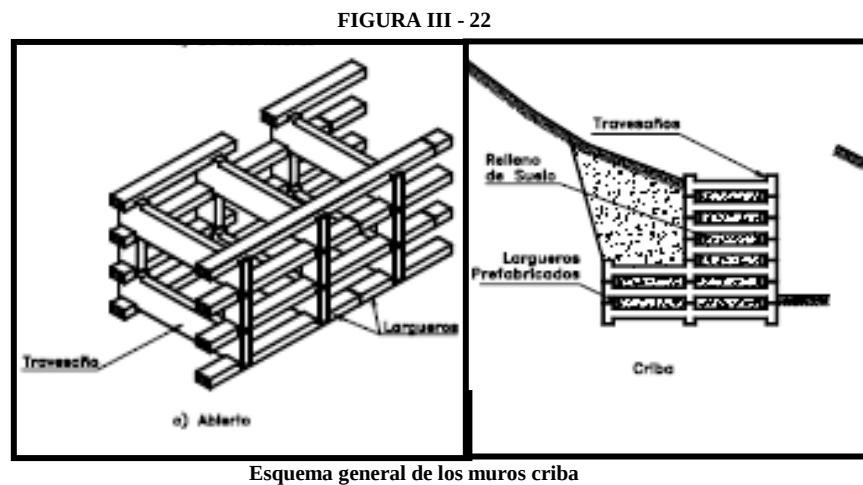
Este tipo de muro es una estructura parecida a una caja formada por prefabricados, el espacio interior de las cajas es relleno con suelo granular permeable o roca para darle resistencia y peso, formando de esta manera un muro de gravedad.

El ancho de este tipo de muro, esta en función exclusiva de la longitud disponible en el mercado de los travesaños, aunque generalmente se usa un ancho mínimo de 1.2 m.

Cuando se construye muros de baja altura, se los puede hacer verticales, pero para alturas mayores a los 2 m se recomienda hacerlos inclinados para mejorar su estabilidad, esta inclinación esta en función a las características de estabilidad, y es común encontrar inclinaciones de 1 a 4 hasta 1 a 10.

Son aplicados como muro flexible de retención de masas de tierra, como prevención de socavación en la pata de los taludes, Aplicado en la corrección de deslizamientos rotacionales de poca altura menor a 9m p, y en suelos como arcillas y en suelos residuales.

Sus desventajas son que se requiere de material granular autodrenante, edemas se vuelve antieconómico cuando se construye un solo muro por la necesidad de prefabricar los elementos de concreto armado y no funcionan en alturas superiores a los 7 m.



#### 3.6.6.8.-LLANTAS (NEUSOL).

Estos muros son hechos por llantas usadas, también se llaman Pneusol o Tiresoil y consisten en rellenos de suelo con llantas de caucho que son unidas entre si por sogas de refuerzo de polipropileno o con el uso de elementos metálicos (Abramson 1996).

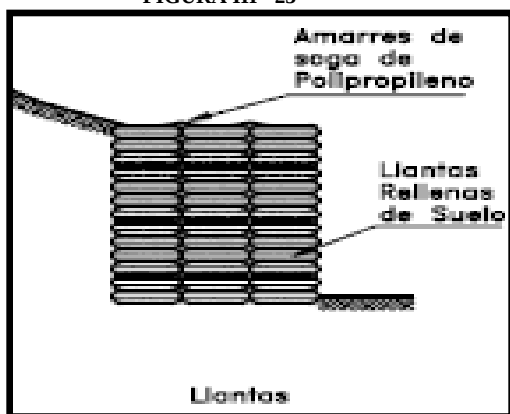
El análisis interno de este tipo de muro generalmente es igual al de un muro armado, además los elementos de anclaje y los de retención superficial del suelo son construidos con llantas.

Los muros de llantas usadas son muy flexibles y se acomodan con facilidad a los asentamientos referenciales, también deben contener sistemas de drenaje de forma similar a los muros de tierra reforzada.

Este muro es fácil de construir y ayuda en el reciclaje de los elementos utilizados.

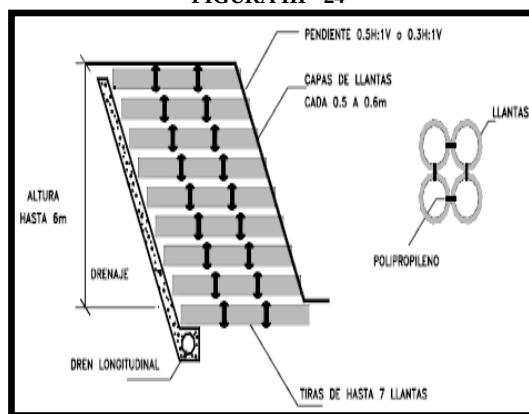
La desventaja de su construcción o de su utilización es que no existen procedimientos confiables para un buen diseño y por otro lado su vida útil es impredecible y hasta desconocida, haciendo de este tipo de muro, uno de los poco frecuentes en taludes de gran importancia o de gran tamaño con riesgos de deslizamientos grandes de masas de tierra.

FIGURA III - 23



Disposición de un muro de llantas.

FIGURA III - 24



Esquema de un muro de llantas usadas con arreglo total en las llantas (Hausmann 1992)

### 3.6.6.9.-PIEDRA – PEDRAPLEN.

Los muros de este tipo son construidos con bloques o cantos grandes de roca, los cuales se colocan unos sobre otros en forma manual, el tamaño de las rocas superan generalmente las 3 pulgadas pudiendo utilizarse bloques de hasta 1 m de diámetro y su diseño consiste en determinar las dimensiones exteriores del terraplén.

El ancho de la base del pedraplen es superior o igual a su altura, el ángulo de inclinación de la pared exterior depende del tipo y tamaño de roca a utilizar, se pueden usar pendientes de hasta 1/6 H: 1V, el ancho mínimo de la parte superior del muro es generalmente de 1 m.

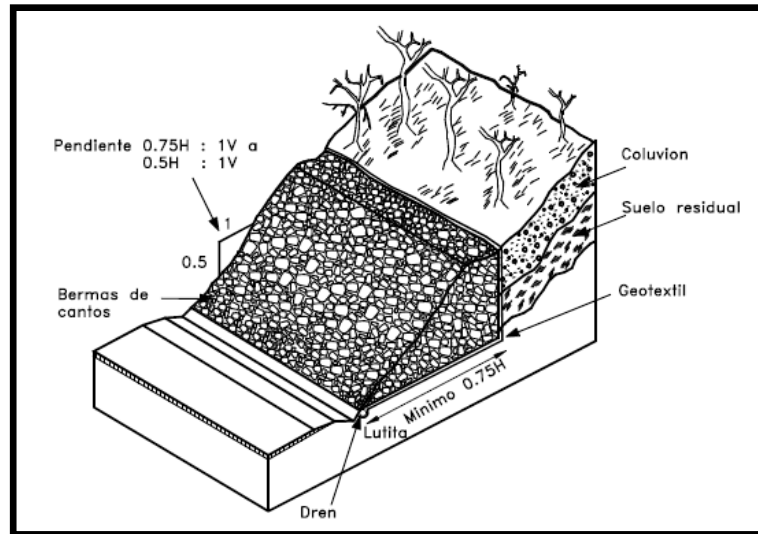
Se acostumbra colocar un geotextil entre el pedraplen y el suelo, y un subdren en forma similar a los muros en gaviones.

Son fáciles de construir y son también económicos siempre y cuando exista piedra disponible.

Aplicado para la retención de masas de tierras, en la corrección de deslizamientos rotacionales en suelo y roca de poca altura menor a 4m, en arcillas y suelos residuales

Su desventaja es que necesitan de la utilización de cantos excesivamente grandes que en la mayoría de los casos no se encuentran disponibles, lo que a su vez los hace antieconómicos.

FIGURA III - 25



Muro de piedra o pedraplen.

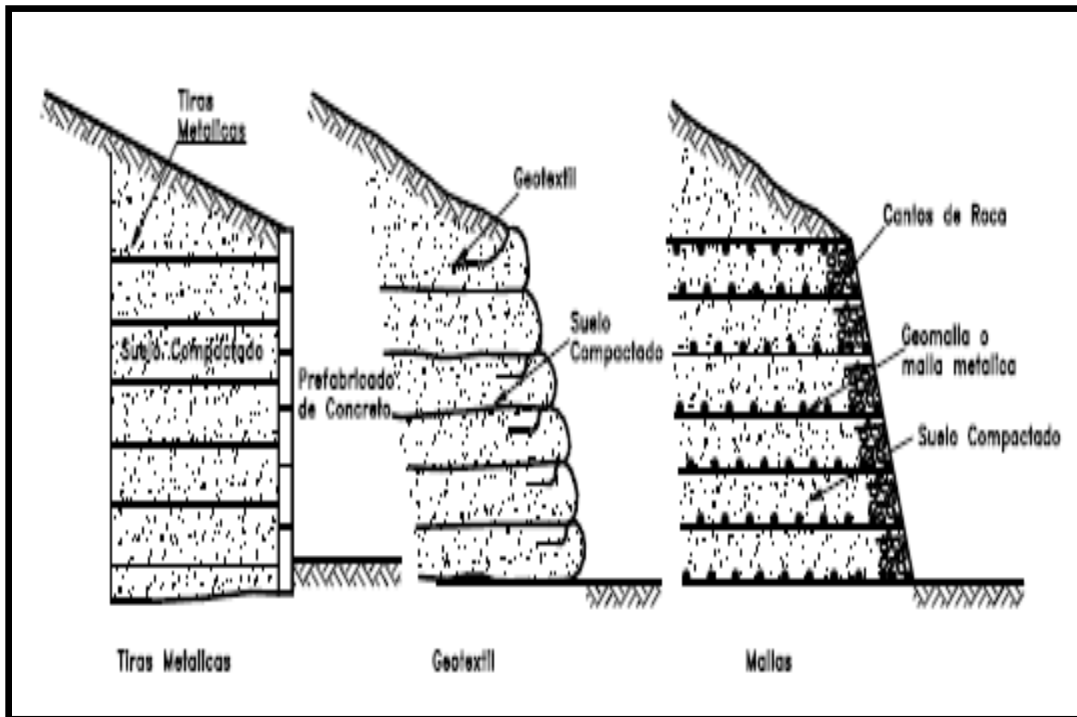
### 3.6.7.- ESTRUCTURAS DE TIERRA REFORZADA.

#### 3.6.7.1.-SUELO REFORZADO

Las estructuras de suelo reforzado son terraplenes donde el suelo es su principal componente; y dentro de este, en el proceso de compactación, se colocan elementos de refuerzos para aumentar su resistencia a la tensión y al corte. Internamente deben su resistencia principalmente, al esfuerzo y externamente actúan como estructuras masivas por gravedad. Son fáciles de construir. Utilizan el suelo como su principal componente. Puede adaptarse fácilmente a la topografía. Permite construirse sobre fundaciones débiles, tolera asentamientos diferenciales y se los puede reparar rápido y fácilmente aunque requieren de mayor espacio que cualquier otra estructura de contención.

Los diferentes tipos de tierra reforzada más conocidos o utilizados son los siguientes:

FIGURA III - 26



Estructuras de tierra reforzada

### 3.6.7.2.-SISTEMA TERRAMESH DE SUELO REFORZADO

El sistema Terramesh es el resultado de los distintos ensayos basados en amplias experiencias, esta constituida por elementos amarrados firmemente entre si a lo largo de todo su paramento estos están compuestos por dos partes: el paramento externo y el anclaje, productos en una única pieza y con el mismo material.

El sistema Terramesh esta basado en el principio de suelo reforzado.

El sistema Terramesh presenta una solución en dos formas distintas:

- ✓ Terramesh System
- ✓ Terramesh verde



**Terramesh System:** Esta formado por un paramento de un metro de espesor, en forma de gavión caja, llenado en la obra con piedra y protegido, en su interface con suelo, por un geotextil y cuya función es la de impedir la fuga de finos de relleno estructural (Fig.III-26).

El Terramesh System mantiene las características técnicas y funcionales de las estructuras de gravedad en gaviones, siendo a un más ventajosa en las regiones donde la piedra es escasa. Otra gran ventaja de esta solución es permite la utilización del propio suelo local para la formación del macizo estructural.

**Terramesh Verde:** Compuesto por refuerzos en malla hexagonal a doble torsión asociado a un paramento frontal formado por la unión de la misma malla a una geomanta o biomanta tridimensional y reforzada por una malla electro soldada acoplada a triángulos de acero, que definirán la inclinación del parameto. Este sistema es ideal para la construcción de taludes reforzados.

#### **Aplicaciones y Ventajas del Sistema Terramesh:**

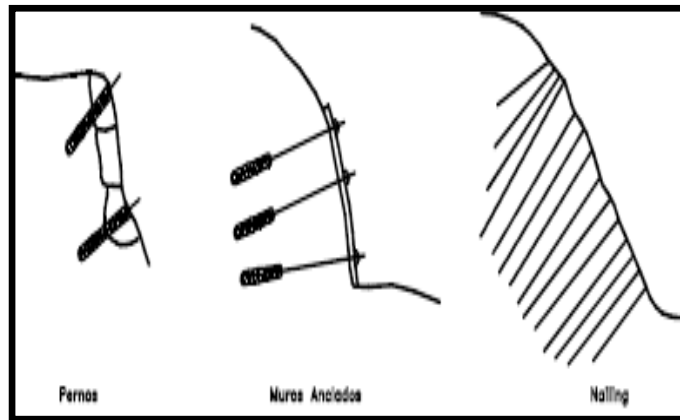
Pueden ser utilizados para cualquier tipo de contención o estabilización de taludes, Sin embargo son indicados principalmente en los casos de formación o recuperación del macizo a ser contenidos (rellenos).

Entre las principales ventajas del uso de esta estructura frente a las tradicionales, como los muros de concreto, se encuentra el menor costo, disminución del tiempo de ejecución de la obra, flexibilidad de la estructura para acomodarse a los desniveles y asentamientos del terreno, mejor integración con el medio ambiente, mejor adaptación a diferentes tipos de suelos excelente versatilidad.

#### **3.6.7.3.-ESTRUCTURAS ANCLADAS.**

En las estructuras ancladas se colocan varillas que generalmente son de acero, se las coloca en perforaciones realizadas con taladro que después son inyectadas con cemento. Los anclajes pueden ser pretensados para colocar una carga sobre un bulbo cementado o pueden ser simplemente cementados sin colocarles carga activa.

FIGURA III - 27



Esquema de estructuras ancladas.

El uso de anclajes de acero en taludes se ha vuelto muy popular en los últimos años, ya que estas estructuras incluyen los pernos metálicos que se utilizan para sostener bloques de roca, las estructuras con tendones pre tensionados, anclados en el suelo y los tendones pasivos no pre tensionados.

Dentro de las estructuras ancladas existen los siguientes tipos a considerar:

#### **3.6.7.3.1.-ANCLAJES Y PERNOS INDIVIDUALES.**

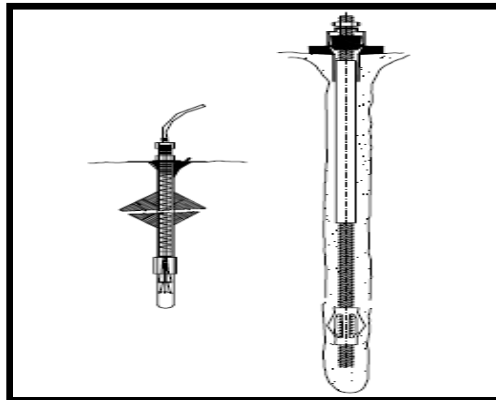
Los pernos individuales no tensionados son elementos constituidos por varillas de acero, mismas que se colocan en una perforación y posteriormente se inyectan con cemento para permitir la unión de la varilla con el macizo rocoso.

De esta manera se puede evitar los deslizamientos de roca fracturada.

El diseño de los pernos es generalmente empírico, y esta basado en las discontinuidades del macizo y de la estabilidad de los bloques, también una parte importante es determinar la localización, ángulo de inclinación y la longitud de cada perno.

Los pernos actúan minimizando la relajación o desprendimiento de los bloques de roca (Hoeck 1983). Una vez que los bloques se sueltan es muy difícil recobrar la estabilidad completa del macizo, es por eso que la colocación de anclajes es muy útil que se realice, previamente a la excavación (Wyllie y Norrish 1996).

FIGURA III - 28

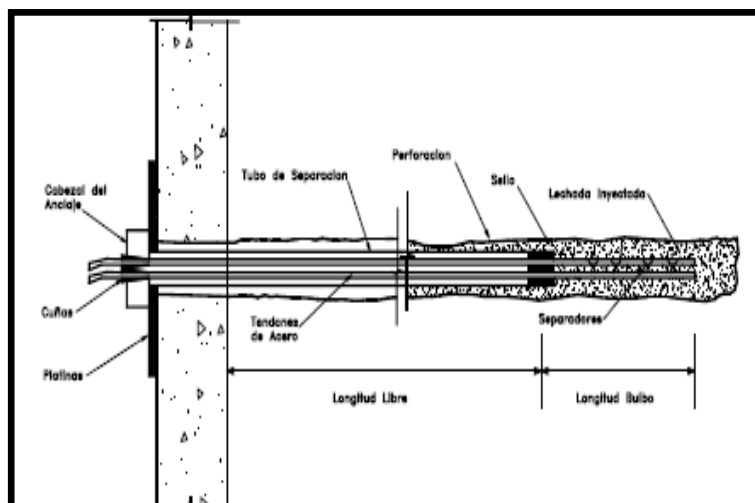


Anclaje con varilla de acero

Ahora bien, **los anclajes individuales tensionados o anclas activas**, es otro método que consiste en la colocación dentro del macizo de roca muy por debajo de la superficie de falla real o potencial de una serie de tirantes de acero anclados en su punta y tensado por gatos hidráulicos en la superficie.

La fuerza requerida para el anclaje, se minimiza cuando la suma de los ángulos de buscamiento del ancla y el de fractura, es igual al ángulo de fricción, ahorrando de esta forma una gran cantidad de pernos ya que se los instala en un ángulo óptimo en lugar de colocarlos normales a la falla.

FIGURA III - 29



Anclaje con tendones de acero

Estos tipos de anclajes permiten la estabilización de bloques individuales o puntos específicos dentro de un macizo rocoso.

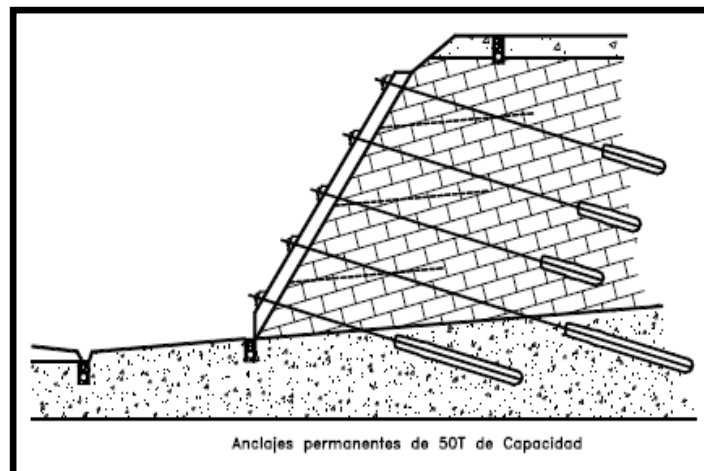
La desventaja es la corrosión cuando entran en contacto con el agua, y no es aplicable para suelos finos es mas utilizable en un macizo rocoso.

#### **3.6.7.3.2.-MUROS ANCLADOS.**

El diseño de estos muros anclados se los realiza con diversos procedimientos, el más común de estos es de la cuña anclada, también se utiliza un análisis de estabilidad de taludes por el procedimiento de Bishop, algunos utilizan también las teorías de presiones de tierra como las de Rankine y Coulomb para determinar las presiones sobre los muros anclados, pero esto no es recomendable puesto que dan resultados alejados de la realidad por no tomar en cuenta los elementos geotécnicos en los suelos residuales.

Las desventajas de los muros anclados es que los elementos de refuerzo pueden sufrir corrosión en ambientes ácidos, se puede requerir un tensionamiento permanente, además de esto su construcción es antieconómica y su mantenimiento periódico debido incluso al robo de tuercas y elementos de anclaje.

FIGURA III - 30



Localización de anclas en un muro anclado de materiales estratificados (Chacón Irigaray 1996).

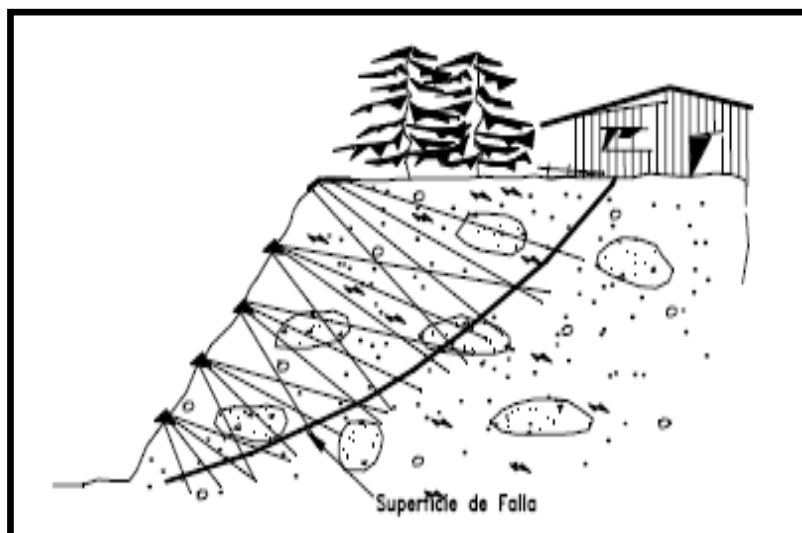
### 3.6.7.3.-NAILING O PILOTILLOS TIPO RAÍZ (ROOTPILES).

Los micro pilotes o Soil Nailing como también se le conoce es un método de refuerzo in situ utilizando pilotillos vacíos, capaces de movilizar resistencia a tensión en el caso de ocurrencia de un movimiento.

Generalmente se utiliza un alfiler por cada uno o seis metros cuadrados de área, y la estabilidad del terreno es controlada por una capa de 12 a 18 cm de espesor de concreto lanzado con una malla de refuerzo y funciona de manera efectiva en suelos granulares duros y en arcillas limosas competentes, dejando de ser efectivo en suelos granulares sueltos o en arcillas blandas.

Su desventaja es que se vuelve antieconómico debido a la cantidad grande de pilotillos que se requieren para proteger un talud.

FIGURA III - 31



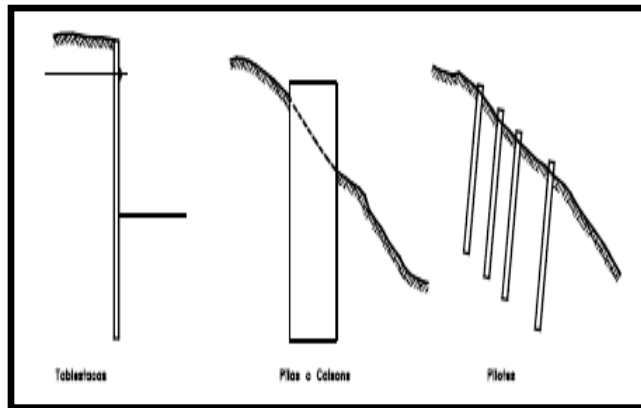
Raíces de micro pilotes (Root-piles) Lizzi 1977.

### 3.6.7.4.-ESTRUCTURAS ENTERRADAS.

Son estructuras esbeltas, las cuales generalmente trabajan empotradas en su punta inferior. Internamente están sometidas a esfuerzos de corte y flexión que se colocan dentro del suelo atravesando la posible superficie de falla.

Entre los tipos mas conocidos de estructuras enterradas tenemos:

FIGURA III - 32



Esquema de estructuras enterradas

#### 3.6.7.4.1.-TABLESTACAS.

Son estructuras de contenciones hincadas, delgadas y esbeltas las cuales trabajan generalmente a flexión, son empotradas o ancladas, pudiendo estar hechos de materiales como acero, madera o de concreto, siendo las que más se utilizan las de acero.

Este muro forma una pared continua, conformado por pilotes que se disponen unidos entre si, dependiendo de esta unión la integridad completa del muro.

Las tablestacas son muy utilizadas a menudo como estructura de contención para la conformación de muelles en ríos y mares. Para su hincado se requiere que el suelo permita la penetración del pilote y no existan bloques o cantos grandes de roca.

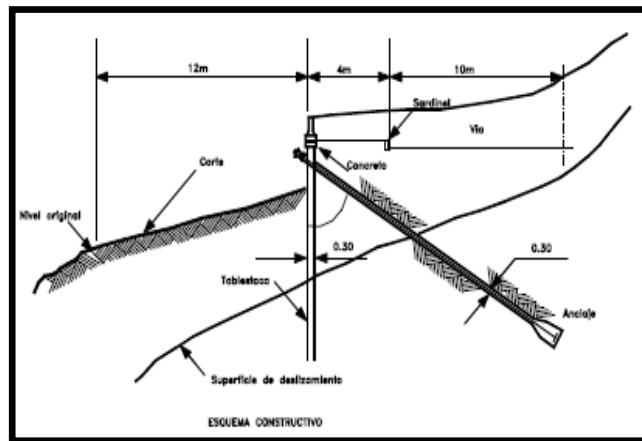
La altura de estos muros de tablestacas varía generalmente entre 4.5 y 12 m.

La construcción de la tablestaca es fácil, rápida y no requiere cortes previos puesto que son ideales para construirlos junto a los cuerpos de aguas y ríos.

Su aplicación consiste en asegurar grandes bloques en taludes de suelos residuales o en coluviales densos.

La desventaja es que no se pueden construir en sitios con presencia de roca o cantos, además su construcción se vuelve antieconómica.

FIGURA III - 33



Tablestaca anclada

#### 3.6.7.4.2.-PILOTES.

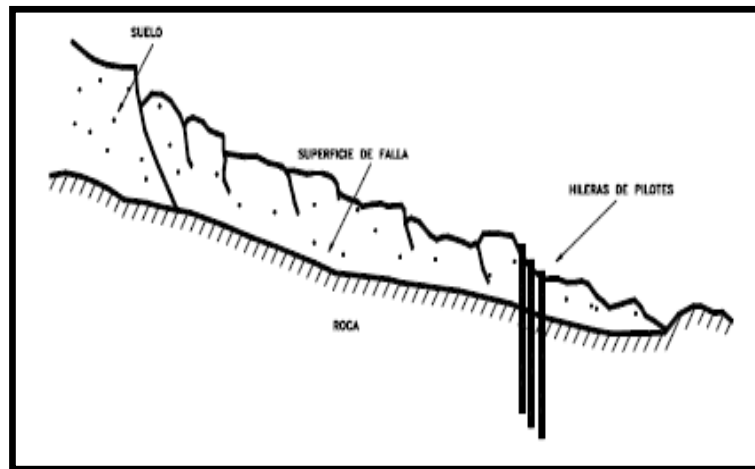
Los pilotes hincados han sido utilizados en ocasiones para la estabilización de deslizamientos activos, este método es solo apropiado para deslizamientos poco profundos y suelos que no fluyan entre los pilotes, ya que los deslizamientos mas profundos producen fuerzas laterales muy grandes que no pueden ser resistidas fácilmente por los pilotes.

Para poder evitar su arrancamiento o inclinación se los debe enterrar en suelos firmes y competentes, además de esto, es muy común la utilización de concreto armado, uniendo las cabezas de los pilotes para mejorar su rigidez y comportamiento en general.

La ventaja de los pilotes radica en que se los puede construir rápidamente lo cual es muy útil en situaciones de emergencia en zonas de falla con riesgo de deslizamiento.

La desventaja es que se puede requerir un número muy grande e importante de pilotes para estabilizar un deslizamiento.

FIGURA III - 34



Esquema general del uso de pilotes para estabilizar deslizamientos.

### 3.6.8.-TRATAMIENTOS DEL TERRENO

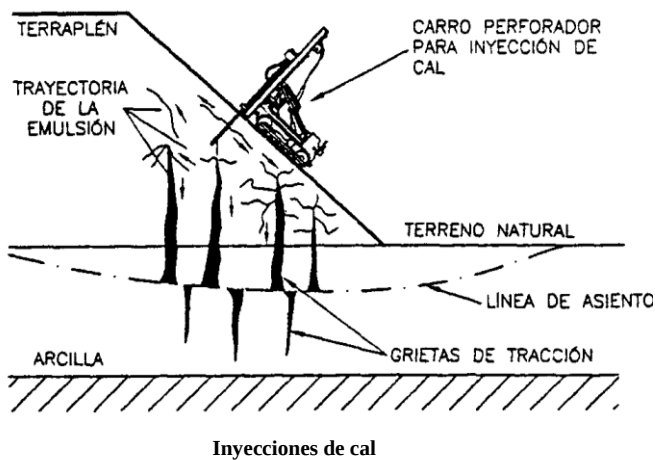
En muchas ocasiones, para estabilizar taludes, los métodos anteriormente expuestos no son lo suficientemente efectivos en suelos cohesivos, que tienen permeabilidad baja o muy baja, en estas situaciones, se deben considerar los siguientes métodos de tratamiento del terreno.

**Tratamientos químicos.-** La utilización de elementos químicos para el tratamiento de laderas o taludes inestables es una posibilidad que presenta diversos atractivos. Los tratamientos químicos más utilizados en la estabilización de laderas han sido las inyecciones de cementos pórtland, cloruros cálcicos, inyecciones de cal y las cenizas. Sin embargo, el gran problema a la hora de utilizar cualquiera de estos elementos químicos ha sido el conseguir un método adecuado para realizar las inyecciones en las zonas de inestabilidad.

**Inyecciones de cal.-** Las inyecciones de emulsiones de cal o de cal y cenizas volantes se emplean mucho en los Estados Unidos para el tratamiento de suelos arcillosos expansivos y limosos. Para lograr una emulsión acuosa espesa con cal y que sea fácilmente bombeable, se suele mezclar cal viva ( $\text{CaO}$ ) o cal hidratada ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), con agua limpia, de forma que exista en dicha emulsión una concentración máxima del 40 % en sólidos. Con el fin de inyectar la emulsión en el terreno se deben emplear equipos adecuados. La emulsión al ser inyectada en el suelo sigue las zonas de debilidad, planos de estratificación, fisuras naturales, etc.



FIGURA III-35



### 3.7.-PLANTEAMIENTO DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN TERRAMESH SYSTEM

Terramesh System: Esta formado por un paramento de un metro de espesor, en forma de gavión caja, llenado en la obra con piedra y protegido, en su interface con suelo, por un geotextil y cuya función es la de impedir la fuga de finos de relleno estructural (Fig.); la red del paramento sobre sale posteriormente en la parte inferior para interactuar con el material de relleno.

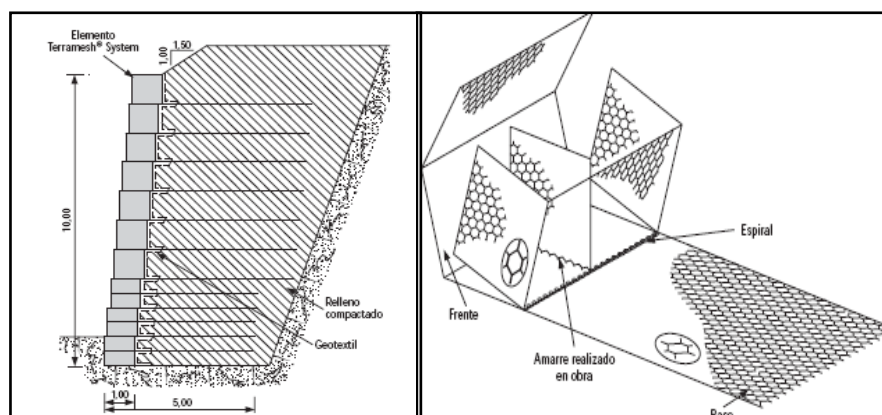
El Terramesh System permite la realización de paramentos verticales o levemente inclinados (aprox.10), planos escalonados .Su apariencia, es la de un muro de gaviones y, como éste, puede permitir el crecimiento de vegetación en su paramento.

Para contenciones de mayor altura, principalmente cuando es necesaria la formación o la recomposición del macizo a ser contenido es, en general, preferible la solución Terramesh System. Esta solución es formada por una estructura de suelo reforzado, constituida por elementos metálicos en malla hexagonal de doble torsión, que al mismo tiempo forman el paramento externo, cuyo aspecto es similar al de un gavión caja, como se menciona con anterioridad, y el panel de refuerzo que interacciona mecánicamente con el suelo.

El Terramesh Sytem mantiene las características técnicas y funcionales de las estructuras de gravedad en gaviones, siendo aun mas ventajoso en las regiones donde la piedra es escasa. Otra gran ventaja de esta solución es que permite la utilización del propio suelo para

la formación del macizo estructural, requiriendo en la peor de las situaciones mejorarlo con suelo de mejor calidad.

FIGURA III-36



Sección de una estructura Terramesh System

### 3.7.1.-RELLENO ESTRUCTURAL

El relleno estructural deberá ser constituido por suelo de buena calidad (granular y bien seleccionado), con ángulo de fricción y permeabilidad elevados, y sobre todo que mantenga sus características a lo largo del tiempo.

La ejecución y la compactación del relleno son efectuadas empleando las técnicas, equipamientos y mano de obra tradicionales de acuerdo con las especificaciones locales para construcción de terraplenes.

En base a los resultados obtenidos en las pruebas ejecutadas en el Transport & Research Laboratory (D.O.T.-UK) y en Chicago (EUA) por la FHWA (Federal Highway Administration, 1989), se identificó un campo de valores granulométricos mínimos y máximos aconsejables para el relleno estructural.

Los valores de granulometría examinados van desde los materiales mas finos, con granulometría inferior o igual a 0.02 mm (Porcentaje NO superior al 10%), a piedras de mayores dimensiones (hasta 200mm).

Los resultados obtenidos en las pruebas mostraron que una granulometría variable de 0.02mm hasta 6mm (porcentaje que pasa =100%) representa, en general, valores óptimos para el material de relleno.

Son toda vía admisibles granulometrías mayores (próximas a los 200mm), en estos casos se hace oportuno introducir un factor adicional de seguridad para la malla previendo y considerando posibles daños en revestimiento de PVC.

El empleo de materiales con elevado porcentaje de piedras superiores a los 100 mm (10 a 15% como máximo) es de cualquier punto de vista desaconsejable, también por el hecho que necesitan cuidados especiales que tornan a los servicios de compactación, muy trabajosos y costosos.

La utilización de materiales granulares seleccionados con las especificaciones mencionadas al principio, garantizan las características de anclaje de la malla incluso en los casos de variación de la humedad del suelo.

En esta hipótesis es posible, de una forma general, obtener después de la compactación, valores de ángulos de fricción para el relleno estructural de por lo menos 36°. De cualquier manera son admisibles materiales que no corresponden a la clasificación descripta anteriormente, pero que garanticen las características de anclaje y durabilidad de los esfuerzos.

Además de eso, es oportuno evaluar a posibilidad de utilizar, para el relleno, materiales del lugar, eventualmente mezclándolos con otros de mejores cualidades (arenas, gravas, estabilizantes químicos, etc.) siempre que este sea parcialmente idóneo.

El elemento determinante para la evaluación de la resistencia y del poder de la malla es el ángulo de fricción interna del suelo a ser utilizado en el relleno, el cual se aconseja que no sea inferior a los valores mínimos de 28° a 30°.

El material de relleno debe ser volcado en capas sucesivas con espesores no superiores a 30 cm. La compactación del relleno junto al paramento deberá ser ejecutada con auxilio de compactadores manuales (placas vibratorias, etc.), el grado de compactación a alcanzar deberá ser de acuerdo con las normas especificadas para la obra. Generalmente en fase de diseño se asume una compactación tal, que determine una densidad mínima para el relleno, próxima a los 1800Kg/m<sup>3</sup>. Una compactación mayor es aconsejable cuando son estructuras construidas sobre el relleno.

### **3.7.2.-APLICACIONES Y VENTAJAS DE LOS SISTEMAS TERRAMESH**

Los sistemas Terramesh pueden ser utilizados para cualquier tipo de contención o estabilización de taludes, sin embargo son indicados principalmente en los casos de formación o recuperación del macizo a ser contenido (Rellenos). Desde el punto de vista exclusivamente económico, es posible afirmar que los sistemas Terramesh son viables para estructuras de 3 hasta 20 metros de altura. Arriba de los 8m es aconsejable evaluar la posibilidad de usar geogrietas como refuerzo adicional.

Su aplicación comprende las siguientes obras civiles.

- Contenciones
- Terraplenes
- Recuperación de deslizamientos
- Rellenos (patios de estacionamiento, condominios, fábricas)
- Obras hidráulicas
- Barreras fonoabsorbentes
- Barreras contra avalanchas

La utilización en rellenos sanitarios o de desechos industriales es posible siempre y cuando se haga un análisis previo del tipo de agresión química a la cual estará sujeta la malla. Deberá ser verificada la composición del material que entrará en contacto con el PVC que reviste el alambre, verificando si éste es resistente a tales productos.

Como ya se mencionó, tanto los sistemas Terramesh, como todos los sistemas de suelo reforzado, son extremadamente ventajosos cuando el proyecto ya contempla la necesidad de la compactación del relleno.

### **3.7.3.-LAS VENTAJAS DEL SISTEMA TERRAMESH**

#### **ESTRUCTURALES**

Los sistemas Terramesh dispensan encofrados externos durante su construcción. Su paramento puede quedar expuesto a la intemperie sin sufrir daños. Por trabajar por

trabazón, fricción y corte, puede usarse como material de relleno cualquier tipo de suelo, siempre y cuando que no sea expansible. Solamente en casos muy particulares, puede ser necesario mejorar la calidad del terreno disponible en in situ mezclándolo con otro de mejores características mecánicas.

## **AMBIENTALES**

El formato de los dos tipos de paramento externo permite la construcción de obras fácilmente integradas en la naturaleza. El crecimiento de la vegetación, natural o debido a la integración del hombre trasformada el paramento en talud con aspecto natural.

Para acelerar este proceso, en el caso del Terramesh System, es posible colocar tierra fértil y semillas entre las piedras o colocar estacas entre los distintos niveles.

## **ECONÓMICAS**

En especial cuando se trata de contenciones o estabilizaciones el costo cuando es comparado con soluciones alternativas, es extremadamente ventajoso, especialmente, como ya sea adelantado, sobre terrenos de baja plasticidad soporte.

La compactación del relleno es la normalmente exigida en estos casos el uso de maquinaria pesada hasta un metro de distancia del paramento. La faja más externa deberá ser compactada manualmente o con equipos livianos la posibilidad de usar el suelo disponible en sitio, evitando costosos transportes de suelo de mejor calidad, vuelve estos sistemas más económicos aun cuando se comparan con otras estructuras en suelo reforzado.

## **SIMPLICIDAD**

La construcción de los sistemas Terramesh es muy simple y fácil, similar a la de un gavión y la compactación es la usualmente adoptada en obras de movimientos de tierra.

## **FLEXIBILIDAD**

Como ya sea mencionada la flexibilidad de los elementos y la consecuente posibilidad de pequeños asentamientos, amplía el campo de aplicación de los sistemas Terramesh y, al mismo tiempo reduce su costo (Fig. III-36.)

FIGURA III-37



Flexibilidad del Sistema Terramesh

## VERSATILIDAD

Los sistemas terramesh permite la realización de estructuras con paramento plano o escalonado según las necesidades del proyecto, así como aceptan cualquier geometría arquitectónica.

### 3.7.4.-MACSTARS 2000

El programa Macstars, versión 2000, fue desarrollado para analizar la estabilidad de los suelos reforzados, esto es, estructuras que promueven la estabilidad de taludes usando unidades de refuerzos capaces de absorber los esfuerzos de tracción. Además, permite al usuario conducir el análisis de estabilidad usando el Método del Equilibrio Límite considerando también situaciones de taludes sin refuerzos.

El usuario puede ejecutar el Macstars® 2000 para verificar una posible superficie de falla de deslizamiento, introduciendo las coordenadas de esa superficie (este procedimiento puede ser adoptado cuando la información sobre la posición de la superficie de deslizamiento esté disponible) o solicitar que el programa busque en forma aleatoria la superficie potencial de deslizamiento, esto es, una superficie que tenga el menor factor de seguridad y sea la superficie más probable que pueda inducir la falla del talud.

Las superficies generadas pueden ser:

- Superficies circulares;
- Superficies poligonales randómicas.

El Macstars® 2000 permite al usuario realizar los siguientes tipos de análisis:

- Taludes no reforzados (perfiles de suelo existente);
- Taludes (o muros) reforzados con el sistema Terramesh®;
- Taludes reforzados con geogrillas;
- Taludes (o muros) reforzados con el sistema Terramesh + Geogrillas;
- Estructuras de contención en suelo reforzado con paramento en bloques de concreto (Segmental Retaining Wall);
- Rellenos sobre suelo blando.

Presentando finalmente valores para el cálculo de:

- Análisis de la estabilidad interna;
- Tensiones en los refuerzos;
- Análisis de la estabilidad global;
- Verificaciones externas (como muro de contención);
- Análisis de estabilidad contra el deslizamiento;
- Cálculo de los asentamientos.

### **Verificación de estabilidad Global**

El análisis de la estabilidad global se refiere a la estabilidad del bloque reforzado como un todo, o sea, la superficie crítica envuelve todo el macizo reforzado y parte de su fundación a través de una superficie circular. También se puede utilizar, en este caso, la metodología de Janbu; sin embargo, buscando simplificar aun más el caso, será utilizado el método de Bishop simplificado en el cual, como en el caso del método de Janbu, FS se presenta como variable de análisis iterativo, necesitando un valor inicial aproximado como punto de partida para el análisis, difiriendo apenas por la consideración de las superficies circulares

## **Verificación de estabilidad interna**

En los análisis de estructuras en suelo reforzado, pueden ocurrir acciones de cargas internas, impuestas sobre los refuerzos, superiores a las que estos pueden soportar, llevándolos a la ruptura o al arrancamiento de la masa de suelo resistente, por insuficiencia de anclaje. Para que esto no ocurra, el valor de la tensión máxima actuante  $T_{\text{máx}}$  no debe ser superior al menor valor esperado para la resistencia de diseño del geosintético  $T_d$  (tomando en cuenta los debidos factores de reducción). De la misma manera, debe existir un mínimo de anclaje del refuerzo, en la llamada zona resistente, para que el mismo nivel de tensión sea contrarrestado por la fricción y adherencia entre el suelo y el refuerzo, de manera que no haya arrancamiento.



**Tabla. III - 4: Ventajas y desventajas por Protección contra desprendimientos (BARRERAS).**

| ESTRUCTURA                     | ESPECIFICACIONES DEL METODO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | VENTAJAS                                                                                                                                | DESVENTAJAS                                                                                                                                |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>HIDROSIEMBRA</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Pendiente recomendada 45°.</li> <li>*precipitación óptima &gt; 400 mm/ año.</li> <li>*Temperatura (<math>6^{\circ} &lt; t^{\circ} &lt; 45^{\circ}</math>).</li> <li>*No recomendado para material netamente granular.</li> </ul>                                                                                                                                                 | Aplicación de mezcla de semilla adaptadas a los distintos tipos de suelos clima y/o exposición solar                                    | Su principal dificultad es la susceptibilidad al desprendimiento y arrastre por acción de las lluvias de gran intensidad o la escorrentía. |
| <b>BARRERAS FIJAS</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Soportan una energía máxima de 150 KJ (Kilo Jules).</li> <li>*Selección de la malla a utilizar.</li> <li>*Selección del perfil de los postes metálicos y separación de los mismos.</li> <li>*Selección del diámetro del cable de acero y del alambre de amarre.</li> <li>*No recomendable su emplazamiento o construcción en taludes con suelo de granulometría fina.</li> </ul> | Son de fácil de construir y no requiere de mano calificada para su construcción                                                         | La colocación solo en lugares donde el peligro de deslizamiento sea menor                                                                  |
| <b>BARRERAS DINÁMICAS</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Soporta energía máxima de impacto de 150 a 3000KJ.</li> <li>*Selección de la malla a utilizar.</li> <li>*Selección del perfil de los postes metálicos y separación de los mismos.</li> <li>*Selección del diámetro del cable de acero y del alambre de amarre.</li> <li>*No recomendable su emplazamiento o construcción en taludes con suelo de granulometría fina.</li> </ul>  | Son estructuras de protección tiene la propiedad de absorber la fuerza de los impactos de las rocas o de cualquier material desprendido | Que no soportan impactos fuertes                                                                                                           |
| <b>MALLA DE TRIPLE TORCIÓN</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Soportan un esfuerzo máximo de 200KN/m<sup>2</sup>.</li> <li>*Soportan taludes altos y verticales, aunque no se los recomienda para taludes negativos.</li> <li>*No se recomienda su utilización para zonas en donde la precipitación hace que el material se transforme en lodo, es decir que no se recomienda su uso para taludes con suelos finos.</li> </ul>                 | Son de fácil de construir y no requiere de mano calificada para su colocación                                                           | Es aplicable donde el suelo es granular.                                                                                                   |

**Tabla. III - 5: Ventajas y desventajas por el método de muros de contención**

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>REFORZADO</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Son estructuras de concreto reforzado</li> <li>*No se recomienda su uso para alturas mayor a 8 m</li> <li>* Se aplica como muros de contención, retención de tierras.</li> <li>*Se aplica para corregir fallas rotacionales en suelos con arcilla y suelos residuales.</li> </ul> | Los muros de concreto armado pueden emplearse en alturas grandes (superiores a diez metros), previo su diseño estructural y estabilidad. Se utilizan métodos convencionales de construcción, en los cuales la mayoría de los maestros de construcción tienen experiencia. | Requieren de buen piso de cimentación. Son antieconómicos en alturas muy grandes y requieren de formaleas especiales. Su poco peso los hace inefectivos en muchos casos de estabilización de deslizamientos de masas grandes de suelo.                         |
| <b>CONCRETO SIMPLE</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Son enormes masas de concreto que trabajan como estructuras rígidas.</li> <li>*No se recomienda su uso para alturas mayores a 6 m.</li> <li>*Son aplicados como muros de retención de tierra, en suelos como arcillas y suelos residuales.</li> </ul>                              | Relativamente simples de construir y mantener, pueden construirse en curvas y en diferentes formas para propósitos Arquitectónicos y pueden colocarse enchapes para su apariencia exterior.                                                                               | Se requiere una muy buena fundación y no permite deformaciones importantes, se necesitan cantidades grandes de concreto y un tiempo de curado, antes de que puedan trabajar Efectivamente. Generalmente son antieconómicos para alturas de más de tres metros. |
| <b>CONCRETO CICLÓPEO</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Son una mezcla de concreto con bloques de roca dura</li> <li>* No se recomienda su uso para alturas mayores a 4m.</li> </ul>                                                                                                                                                       | Similares a los de concreto simple. Utilizan bloques o cantos de roca como material embebido, disminuyendo los volúmenes de concreto.                                                                                                                                     | El concreto ciclópeo (cantos de roca y concreto) no puede soportar esfuerzos de flexión grandes.                                                                                                                                                               |

**Tabla. III - 6: Ventajas y desventajas por el método de Muros de Contención**

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>GAVIONES</b>           | <p>*son elementos constructivos con cajas de malla metálica rellenos con piedras o rocas de pequeño tamaño.</p> <p>*Selección del tamaño de la malla para la formación de las cajas.</p> <p>* Se recomienda su uso para alturas mayores 8 m.</p> <p>*Tiene la aplicación como medida de corrección en deslizamientos rotacionales en suelos y en materiales residuales</p> | Fácil alivio de presiones de agua. Soportan movimientos sin pérdida de eficiencia. Es de construcción sencilla y económica.                                        | Las mallas de acero galvanizado se corroen fácilmente en ambientes ácidos, por ejemplo, en suelos residuales de granitos se requiere cantos o bloques de roca, los cuales no necesariamente están disponibles en todos los sitios. Al amarre de la malla y las unidades generalmente no se le hace un buen control de calidad. |
| <b>CRIBA</b>              | <p>*Esta formada por la unión de un número de celdas o cajas llenas con suelo o roca.</p> <p>*Selección del suelo de relleno para las cajas con suelo granular permeable o roca.</p> <p>*No funciona en alturas mayores a 7m</p> <p>*Se recomienda un ancho de muro de 1.2m</p> <p>*Se recomienda hacerlos inclinados para mejorar su estabilidad a partir de los 2 m</p>  | Simple de construir y mantener. Utiliza el suelo en la mayor parte de su volumen. Utiliza elementos prefabricados los cuales permiten un mejor control de calidad. | Se requiere material granular, autodrenante. Puede ser costoso cuando se construye un solo muro por la necesidad de prefabricar los elementos de concreto armado. Generalmente no funciona en alturas superiores a siete metros.                                                                                               |
| <b>LLANTAS (NEUSOL)</b>   | <p>*Son estructuras hechas por llantas usadas rellenas unidas entre si por sogas de refuerzos o con elementos metálicos.</p> <p>*No se recomienda para alturas mayores a 6m</p>                                                                                                                                                                                            | Son fáciles de construir y ayudan en el reciclaje de los elementos utilizados.                                                                                     | No existen procedimientos confiables de diseño y su vida útil no es conocida.                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>PIEDRA - PEDRAPLÉN</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Son fáciles de construir y económicos cuando hay piedra disponible.                                                                                                | Requieren de la utilización de bloques o cantos de tamaño relativamente grande.                                                                                                                                                                                                                                                |

**Tabla. III - 7: Ventajas y desventajas por el método de Estructuras Ancladas**

|                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ANCLAJES Y<br/>PERNOS<br/>INDIVIDUALES</b>                 | <p>*Los pernos individuales no tensionados son elementos constituidos por varillas de acero, mismas que se colocan en una perforación y posteriormente se inyectan con cemento para permitir la unión de la varilla con el macizo rocoso.</p> <p>*Son utilizados en macizos rocosos</p>                                                                                                                                                                                             | Permiten la estabilización de bloques individuales o puntos específicos dentro de un macizo de roca.                                                                                                  | Pueden sufrir corrosión.                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>MUROS<br/>ANCLADOS</b>                                     | <p>*El diseño de estos muros anclados se los realiza con diversos procedimientos, el más común de estos es de la cuña anclada.</p> <p>*Son utilizados para sostener bloques de roca y en suelos granulares duros.</p>                                                                                                                                                                                                                                                               | Se pueden construir en forma progresiva de arriba hacia abajo, a medida que se avanza con el proceso de excavación. Permiten excavar junto a edificios o estructuras. Permiten alturas considerables. | Los elementos de refuerzo pueden sufrir corrosión en ambientes ácidos. Se puede requerir un mantenimiento permanente (tensionamiento). Con frecuencia se roban las tuercas y elementos de anclaje. Para su construcción se puede requerir el permiso del vecino. Su construcción es muy costosa. |
| <b>NAILING O<br/>PILOTILLOS TIPO<br/>RAÍZ<br/>(ROOTPILES)</b> | <p>*se le conoce es un método de refuerzo in situ utilizando pilotillos vacíos</p> <p>* Generalmente se utiliza un alfiler por cada uno o seis metros cuadrados de área, y la estabilidad del terreno es controlada por una capa de 12 a 18 cm de espesor de concreto lanzado con una malla de refuerzo y funciona de manera efectiva en suelos granulares duros y en arcillas limosas competentes, dejando de ser efectivo en suelos granulares sueltos o en arcillas blandas.</p> | Muy eficientes como elemento de refuerzo en materiales fracturados o sueltos.                                                                                                                         | Generalmente se requiere una cantidad grande de pilotillos para estabilizar un talud específico lo cual los hace costosos.                                                                                                                                                                       |

**Tabla. III - 8: Ventajas y desventajas por el método de Estructuras enterradas**

|                   |                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                       |                                                                                                  |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>TABLESTACA</b> | <p>* Son estructuras de contenciones hincadas, delgadas y esbeltas las cuales trabajan generalmente a flexión, son empotradas o ancladas</p> <p>*La altura de estos muros de tablestacas varía generalmente entre 4.5 y 12 m</p> | Su construcción es rápida y no requiere cortes previos. Son de fácil construcción junto a los cuerpos de agua o ríos. | No se pueden construir en sitios con presencia de roca o cantos. Su construcción es muy costosa. |
| <b>PILOTES</b>    | *Los pilotes hincados han sido utilizados en ocasiones para la estabilización de deslizamientos activos, este método es solo apropiado para deslizamientos poco profundos y suelos                                               | Se pueden construir rápidamente.                                                                                      | Se puede requerir un número grande de pilotes para estabilizar un deslizamiento.                 |

**Tabla. III - 9: Ventajas y desventajas por el método de Tierra reforzada Sistema Terramesh**

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                 |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <b>SISTEMA TERRAMESH</b> | <p><b>Terramesh System:</b> Es un gavión tipo cajón relleno con piedra y cubierto por un geotextil y suelo.</p> <p><b>Terramesh verde:</b> Compuesto por refuerzos en malla hexagonal a doble torsión asociado a un paramento frontal formado por la unión de la misma malla, coplada a triángulos de acero, que definirán la inclinación es ideal para la construcción de taludes reforzados.</p> | <p>Desde el punto de vista económico, es posible afirmar que los sistemas Terrameh son viables para estructuras de 3 m hasta 20m de altura.</p> <p>Arriba de los 8m es aconsejable evaluar la posibilidad de usar geogrillas como refuerzo adicional</p> <p>Menor costo disminución de tiempo de ejecución de la obra.</p> <p>Mejor adaptación a diferentes tipos de suelos.</p> <p>Utiliza suelo local.</p> <p>Son económicos.</p> <p>Excelente versatilidad arquitectónica, mejor integración con el medio ambiente.</p> | Dependiendo del material constitutivo la malla puede descomponerse o corroerse. |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|

**Tabla. III - 10: Ventajas y desventajas por el método de Tratamientos químicos**

|                                                      |                                                                                                                                                                                                                    |                                                                     |                                                                      |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <p><b>INYECCIONES DE CEMENTO, CAL O QUÍMICOS</b></p> | <p>En muchas ocasiones, para estabilizar taludes, los métodos anteriormente expuestos no son lo suficientemente efectivos en suelos cohesivos, que tienen permeabilidad baja o muy baja, en estas situaciones,</p> | <p>Endurecen el suelo y pueden cementar la superficie de falla.</p> | <p>La disminución de permeabilidad puede ser un efecto negativo.</p> |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|

## **CAPÍTULO IV**

### **APLICACIÓN PRÁCTICA**

#### **4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL TRAMO**

El tramo de estudio, se encuentra ubicado dentro la Faja Sub Andina Sur (Chaco Tarijeño), morfológicamente de las formaciones: terciarias con una Litología (Areniscas, arcillas y limolitas), y cretácicas con una Litología (Arenisca, lentes de conglomerados, arcillas, lutitas y limolitas), por lo que en su mayoría de los estudios de suelos realizados por la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) se tratan de suelos arenosos

Dicho tramo abarca dos provincias del departamento, la Provincia O'Connor y la Provincia Gran Chaco.

##### **La Provincia O'Connor**

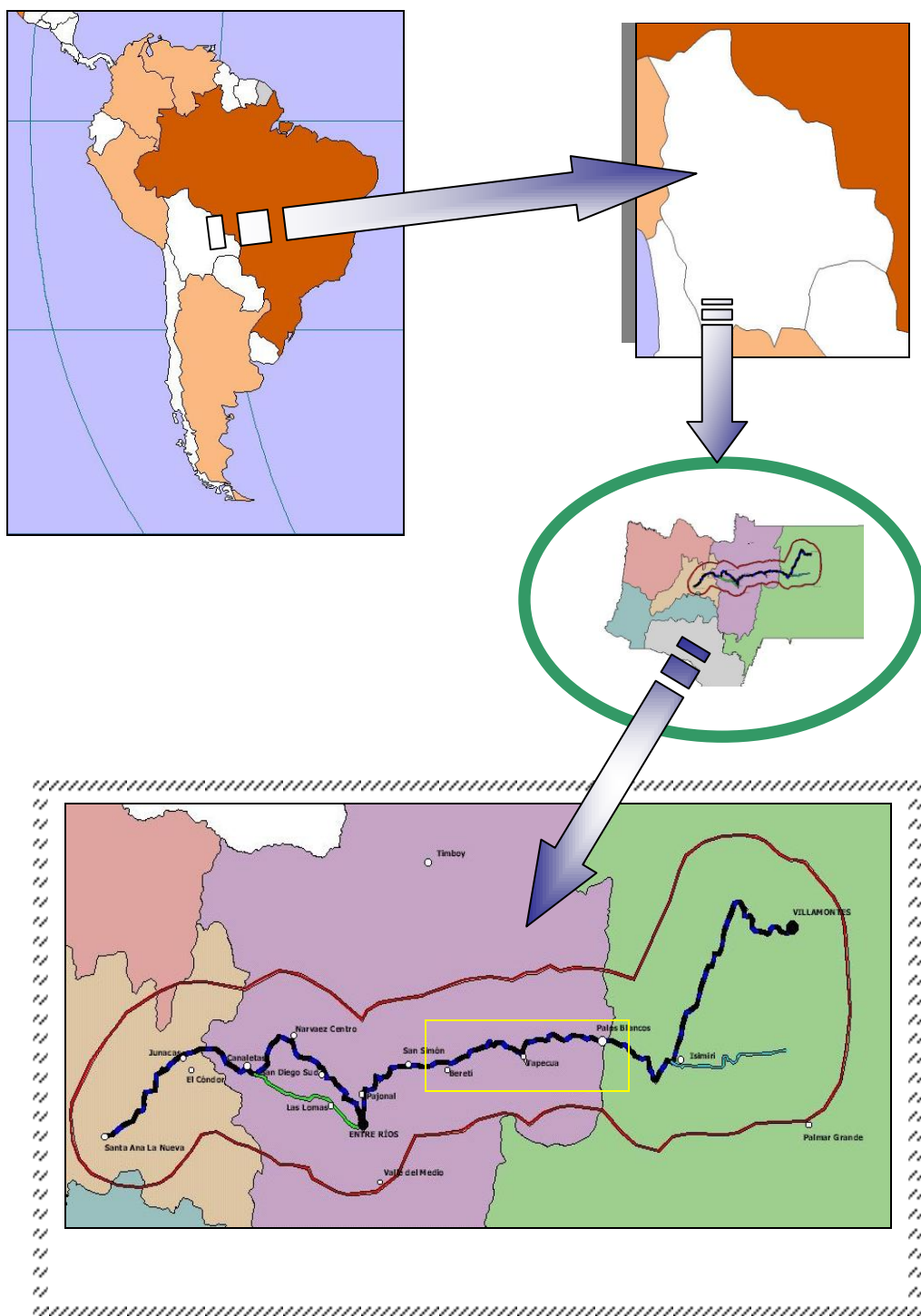
Una región importante que abarca el tramo carretero Bereti – Palos Blancos pertenece a la provincia O'Connor, la misma presenta las siguientes características:

Se encuentra ubicada en la parte central del departamento de Tarija enmarcada entre los paralelos 20° 51' 57'' a 21° 56' 51'' de latitud sur y los meridianos 63° 40' 23'' a 64° 25' 6'' de longitud oeste. Comprende una superficie de 5.309 Km<sup>2</sup>.

##### **La Provincia Gran Chaco**

Otra zona de influencia directa del tramo carretero Bereti – Palos Blancos es la provincia Gran Chaco, en su segunda Sección Municipal Caraparí, la misma que se encuentra ubicada al sudeste del país, entre los meridianos 64° 10' y 62° 15' de longitud oeste y los paralelos 21° y 22° 20' de latitud sur. La provincia tiene una extensión de 17.428 Km<sup>2</sup> que representa el 43,6 % del territorio departamental.

FIGURA IV - 1



Ubicación del Proyecto



## 4.2 SITUACIÓN ACTUAL

El tramo de estudio es parte de la carretera Tarija - Villamontes, la carretera en la actualidad, no tiene un promedio importante de circulación de vehículos, la misma se debe a las condiciones actuales de la misma, que siendo una carretera considerada dentro de la red fundamental de caminos, las condiciones de transitabilidad de la misma son dificultosas. Sin embargo, al ser esta carretera, la única que vincula a un importante número de Provincias del Departamento de Tarija, con el oriente de Bolivia, que se ha constituido en un importante mercado para productos tarijeños.

Actualmente el tramo Bereti – Palos Blancos sigue siendo el mismo trazo con el que cuenta, las características actuales de la carretera son:

- Superficie de rodadura
- Alcantarillas
- Puentes
- Señalización
- Taludes

**Superficie de rodadura.-** La superficie de rodadura no es pavimentada, se identifico dos tipos de superficie de rodadura uno de grava y otro de tierra.

**Alcantarillas.-** En su mayoría de las alcantarillas se encuentran totalmente bloqueadas y requieren limpieza manual y mecánica.

**Puentes.-** El tramo cuenta con dos puentes: Población de Bereti y población de Palos Blancos.

**Señalización.-** El tramo cuenta con poca señalización solo tiene referencia el sitio de cada comunidad y en otros que no se menciona.

**Taludes.-** los taludes en este tramo, tienen alturas que varían entre 10 a 50 m y pendientes variables, que en su mayoría son suelos que contienen mayor porcentaje de arena.

## 4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS TALUDES DEL AREA DE ESTUDIO

La zona de estudio seleccionada para llevar acabo nuestra investigación se encuentra en el tramo carretero Tarija - Villamontes (Ruta F-011) en las progresivas 27+300 entre 75+000, pertenecientes a las provincias Cercado, O'Connor y Gran Chaco del departamento de Tarija.

El estudio geotécnico esta orientado a proporcionar de forma clara y precisa las diferentes características físicas y mecánicas de los diferentes suelos que componen los taludes del trazo de la carretera, realizados por la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), Donde se brindo información sobre los taludes del tramo de estudio como se muestra a continuación.

### **TALUD “A”.-**

Se encuentra ubicado próximo a la población de Palos Blancos, al lado izquierdo de la carretera en la progresiva 70 + 000.

La información geológica del talud se trata de una cubierta de relleno **Cuaternario** (Lateritas-Arenas), los sedimentos cuaternarios finos como las arenas, arcillas y limos constituyen los suelos lateríticos; típicos de zonas sub tropicales a tropicales húmedos, encontrados desde las localidades de: Canaletas, Entre Ríos, Palos Blancos y Villamontes.

El talud no presenta nivel freático, en su parte superior presenta vegetación el talud se encuentra en riesgo de falla como se puede ver en la fotografía.

De acuerdo a la información proporcionada por la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), el talud tiene un suelo A-2-4<sub>(0)</sub> con materiales granulares que contienen ligante compuestos esencialmente de limo. Cuando absorben agua rápidamente, sufren expansión perjudicial o pierden estabilidad, su textura varia ampliamente desde arenoso hasta el limo.

FOTOGRAFÍA IV- 1



FOTOGRAFÍA IV- 2



Talud “A”, ubicado en la progresiva 70 + 000, bajada a Palos Blancos

### **TALUD “B”:-**

El talud se encuentra ubicado al lado izquierdo de la carretera en inmediaciones a la población de Chimeo, en la progresiva 61+ 082.

La información geológica del talud se trata de una formación Cangapi del Triásico, litológicamente esta compuesta de areniscas friables, color gris-amarillentas, blanquecinas-rosadas a rojizas de acuerdo al grado de alteración, presenta laminación y estratificación entrecruzada (arrítmia en la sedimentación); en la carretera donde existe la presencia de ésta formación presenta estratos sub-horizontales de color rojo- amarillento, blanquecino bastante deleznable. El talud presenta suelos con materiales granulares que contienen ligante, están compuestos por arcillas con moderada cantidad de material grueso.

FOTOGRAFÍA IV- 3



Talud “B”, ubicado en la progresiva 61+082

### **TALUD “C”:-**

El talud se encuentra ubicado en la progresiva 61+ 083, próximo a la población de Chimeo. La información geológica del talud se trata de una formación Cangapi del Triásico, litológicamente esta compuesta de areniscas y calizas margas de color gris-amarillentas, blanquecino-rosado a rojizas de acuerdo al grado de alteración, presenta laminación y estratificación entrecruzada. El tipo de suelo que presenta el talud es A-4<sub>(2)</sub>, suelos con materiales granulares que contienen ligante con características de los grupos A-4 o A-5. Suelos compuestos esencialmente de limo, con moderada o poca cantidad de material grueso y solo pequeña cantidad de arcilla grasa coloidal.

**FOTOGRAFÍA IV-4**



**FOTOGRAFÍA IV- 5**



**Talud “C”, ubicado en la progresiva 61+083**

El talud se encuentra ubicado en la progresiva 59 + 000, próximo a la población de Chimeo. La información geológica del talud se trata de una formación Cangapi del Triásico, litológicamente esta compuesta de areniscas y calizas margas de color gris-amarillentas, blanquecino-rosado a rojizas de acuerdo al grado de alteración, presenta laminación y estratificación entrecruzada.

El tipo de suelo que presenta el talud es  $A-4_{(0)}$  , suelos con materiales granulares que contienen ligante, suelos compuestos esencialmente de limo, con moderada o poca cantidad de material grueso y solo pequeña cantidad de arcilla grasa coloidal

**FOTOGRAFÍA IV- 6**



**Talud “C”, ubicado en la progresiva 59+000**

### **TALUD “D”.-**

El talud se encuentra ubicado en la progresiva 48 + 211, bajada de Tapehua. La información geológica del talud se trata de una formación Ipaguezú del Triásico (Contacto Inferido), los afloramientos de ésta formación presentan en el tope areniscas de grano fino a medio con intercalación de yesos en la base; el matriz de las areniscas es arcillosa de color rosadas a pardo rojizas por el grado de alteración.

El tipo de suelo que presenta el talud son fragmentos de Rocas, gravas y arena A-1: Suelos bien graduados, de gruesos a finos, con un ligante plástico o débilmente plástico.

FOTOGRAFÍA IV-7



FOTOGRAFÍA IV-8



Talud “D”, ubicado en la progresiva 48+ 211 en el tramo Alto Zarzos y Tapehua.

### **TALUD “E”.-**

El talud se encuentra ubicado en la progresiva 47 + 217, bajada de Tapehua. La información geológica del talud se trata de una formación Tapehua del Cretácico, litológicamente esta constituido por areniscas marrón-anaranjadas bastante compactas de grano fino a medio, matriz arcillosa; por el grado de alteración presenta en tramos el color pardo-rojizo. El tipo de suelo que presenta el talud es A-4<sub>(1)</sub>, suelos compuestos esencialmente de limo, con moderada o poca cantidad de material grueso y solo pequeña cantidad de arcilla grasa coloidal.

FOTOGRAFÍA IV-9



Talud "E", ubicado en la progresiva 47+ 217

### **TALUD "F").-**

El talud se encuentra ubicado en la progresiva 46 + 231, bajada de Tapequa. El tipo de suelo que presenta el talud es roca.

FOTOGRAFÍA IV-10



Talud "F", ubicado en la progresiva 46 + 231

### **TALUD "G").-**

El talud se encuentra ubicado en la progresiva 45+ 750, bajada de Tapequa. La información geológica del talud se trata de una formación Castellón del Cretácico, litológicamente esta constituido por bancos gruesos de areniscas de grano fino a medio, posee una estratificación entrecruzada a laminar compacta; se encuentra intercalada con limolitas y arcillas de color grisacea-blanquesina a rosada.

El tipo de suelo que presenta el talud es roca.



FOTOGRAFÍA IV- 11



Talud "G", ubicado en la progresiva 45+ 750

### **TALUD "H".-**

El talud se encuentra ubicado en la progresiva 45 + 000, bajada de Tapequa.

El tipo de suelo que presenta el talud es roca.

FOTOGRAFÍA IV- 12



Talud "H", ubicado en la progresiva 45 + 000

### **TALUD "T" (CAÑADAS).-**

El talud se encuentra ubicado en la progresiva 42 + 300, a inmediaciones de la población de Cañadas.

La información geológica del talud se trata de una Formación Chaco Inferior del Terciario, litológicamente esta formada por bancos de areniscas de grano fino a medio, pasando gradualmente a la base a conglomerados de color pardo rojizas compactas.

El tipo de suelo que presenta el talud es roca.

FOTOGRAFÍA IV-13



FOTOGRAFÍA IV-14



Talud "I", ubicado en la progresiva 42+ 300 en el tramo Cañadas - Tapehua

### **TALUD "J" (TACUARANDY).-**

El talud se encuentra ubicado en la progresivas 33 + 620, próximo a la población de Tacuarandy.

La información geológica del talud se trata de una Cubierta de relleno del Cuaternario (Lateritas-Arenas), los sedimentos cuaternarios finos como las arenas, arcillas y limos constituyen los suelos lateríticos; típicos de zonas sub tropicales a tropicales húmedos.

El tipo de suelo que presenta el talud es A-6<sub>(6)</sub>, son suelos que están compuestos por arcillas con moderada o despreciable cantidad de material grueso.

FOTOGRAFÍA IV- 15



FOTOGRAFÍA IV-16



Talud "J", ubicado en la progresiva 33+ 620 en el tramo Tacuarandy - Cañadas



### **TALUD “K”.-**

El talud se encuentra ubicado en la progresiva 27 + 500 en el tramo Bereti y Tacuarandy.

La información geológica del talud se trata de una Cubierta de relleno Cuaternario, Los sedimentos cuaternarios finos como las arenas, arcillas y limos constituyen los suelos lateríticos; típicos de zonas sub tropicales a tropicales húmedos, El tipo de suelo que presenta el talud es un A-4<sub>(3)</sub> son suelos que están compuestos por limo con moderada o despreciable cantidad de material grueso.

**FOTOGRAFÍA IV- 17**



**Talud “K”, ubicado en la progresiva 27+ 500**

## **4.4 SELECCIÓN DE LOS TALUDES PARA EL ESTUDIO**

La selección de este lugar fue hecho bajo el criterio de seleccionar una zona que presente características de inestabilidad y deslizamiento mas frecuentes, volúmenes de tierra deslizados, donde presente el suelo con mayor porcentaje de arena.

De acuerdo a la información obtenida por la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC). Este tramo esta ubicada en la zona de los valles sub tropicales Chaqueños a 1230 m.s.n.m, es un tramo donde presenta continuos deslizamientos o fallas debido a que su topografía es accidentada con farallones verticales de mas de 100 metros de altura.

### **TALUD “A”.-**

Una vez verificado todos los taludes que presenten riesgo falla, existentes en tramo Palos Blancos – Bereti, se ha verificado que el talud “A” cumplió lo solicitado en el objetivo general donde indica que el análisis de estabilidad de taludes se realice en suelos arenosos, si presenta deslizamientos continuos que perjudican la libre transitabilidad de los vehículos.

Este talud se encuentra ubicado en la progresiva 70 + 000, próximo a la población de Palos Blancos, tiene una pendiente inclinada de 58° con una altura de 15m y un ancho de 30m, el suelo que presenta el talud se trata de un A-2-4<sub>(0)</sub>, este tipo de suelo tiene como características materiales granulares que contienen ligante compuestos esencialmente de limo. Cuando absorben agua rápidamente, sufren expansión perjudicial o pierden estabilidad, su textura varia ampliamente desde arenoso hasta el limo, de los cuales se realizara la extracción de nuestras para analizar en laboratorio.

**FOTOGRAFÍA IV- 18**



**Talud “A”, ubicado en la progresiva 70 + 000 talud de estudio**

## **4.5 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.**

La metodología que se siguió en la elaboración del presente trabajo, esta dividida en dos partes muy importantes:

✓ **Trabajo de campo**

✓ **Trabajo de gabinete**

### **4.5.1 TRABAJO DE CAMPO.**

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 taludes que presenten riesgo de falla o deslizamiento y sobre todo que el suelo sea arenoso. Además de recoger la información básica sobre el terreno, este estudio establecerá la topografía, vegetación y toda la información sobre los suelos para su posterior análisis en laboratorio.

#### **4.5.1.1 TOMA DE MUESTRAS.**

La toma de muestras para el análisis respectivo en laboratorio, parte primeramente de la identificación y selección del talud de estudiados como es el caso el talud de Palos Blanco en la progresiva 70 + 000. Para posteriormente realizar la toma de muestras que sean representativas, es decir que la muestra tomada nos muestre el o los materiales que conforman dicha muestra, que de esta manera obtener resultados reales. Esta toma de muestras se la realizo excavando una calicata a una profundidad de por lo menos 0.4 m, de donde se extraerá el suelo para su posterior análisis en laboratorio.

### **4.5.2 TRABAJO DE GABINETE**

Este aspecto contempla el análisis profundo de todos los ensayos realizados en el laboratorio, en este trabajo de gabinete se realizaron todas la observaciones y cálculos correspondientes para obtener los resultados de los diferentes ensayos.

#### 4.5.2.1 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO.

El análisis de las diferentes muestras se las realizo en un laboratorio de suelos, en el que se realizaron los siguientes ensayos:

1. Clasificación de los suelos (clasificación S.U.C.S, AASHTO).

- ▶ Granulometría

- ▶ Límites de Atterberg.

- ▶ Hidrómetro

2. Densidad en Situ.

3. Peso específico relativo de los suelos.

4. Ángulo de fricción interna.

5. Compresión no confinada.

6. Compresión de muestra inalterada.

#### 1. 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, Para el caso del proyecto se realizo por el proceso de sedimentación.

FIGURA IV - 2



Muestra Saturada del Talud A

FIGURA IV - 3



Juego de tamices de laboratorio

### ► 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.

FIGURA IV-4



Instrumental utilizado para la determinación del (LL)

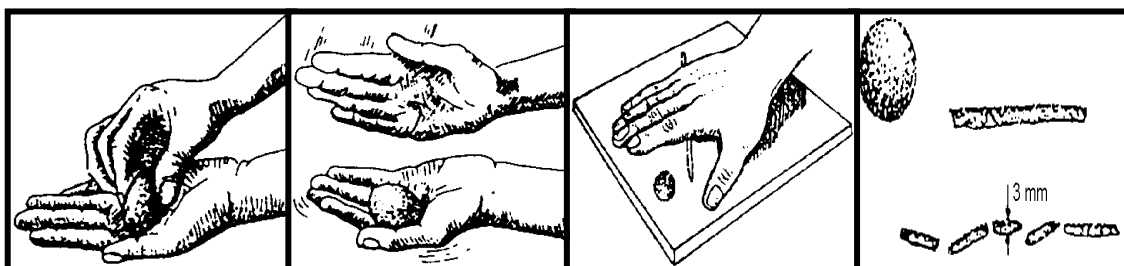
FIGURA IV-5



Ensayo del Limite Liquido

**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.

FIGURA IV-6



Procedimiento para la determinación del (LP)

► **Hidrómetro.-** El método más usado para hacer la determinación indirecta de los porcentajes de partículas que pasan el tamíz No. 200, es el del hidrómetro, basado en la sedimentación de un material en suspensión en un líquido. El análisis de hidrómetro es un método ampliamente utilizado para obtener un estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz No.200 (0.075 mm.) hasta alrededor de 0.001 mm.es decir, cuando la dimensión de las partículas es inferior a 0.1 mm. no es posible efectuar el tamizado, entonces se recurre a la sedimentometría Los datos se presentan en un gráfico semilogarítmico de porcentaje de material más fino contra diámetro de los granos y puede combinarse con los datos obtenidos en el análisis mecánico del material retenido, o sea mayor que el tamíz No. 200.

FIGURA IV-7



Ensayo del Hidrómetro

2. **Densidad In Situ.-** Se determinará la cantidad de masa que contiene un determinado volumen en su estado natural en su sitio es decir en el talud.

FIGURA IV-8



Ensayo de la Densidad in situ

FIGURA IV-9



Ensayo de la Densidad in situ en la Progresiva 70 + 000

**3. 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.

$$\gamma = W_{ow} / (W_o + W_2 - W_1)$$

Donde:

$\gamma$  = Peso específico relativo de un suelo cualquiera

$W_o$  = peso de la muestra de suelo seco

$W_2$  = Peso del frasco + agua

$W_1$  = Peso del frasco + agua + suelo

**4. Angulo de Fricción Interna.-** Este ensayo consiste en determinar el ángulo de fricción interna del suelo que es fundamental en la estabilización de taludes, este método es aplicable para suelos limo arenosos.



Este método se lo realiza con material de 3 a 5 Kilos, primeramente se va realizando un camellón y la altura para ir formando el camellón es de 15cm para luego realizar las mediciones con un regla en centímetros y pulgadas, estas lecturas se la realiza a la derecha e izquierda del camellón.

**5. Compresión no confinada o Compresión simple.-** Juárez y Rico (1989) en su libro Mecánica de Suelos Tomo I hace referencia a este tipo de definición, este ensayo se utiliza en suelos cohesivos y granulares finos.

La determinación de la cohesión es un factor fundamental, para la estabilidad de taludes en cortes o terraplenes. El ensayo que permite su determinación es el denominado **“Compresión no Confinada”** y lo primero que se debe hacer para este ensayo es tomar una muestra de 3 Kg. de suelo del talud de estudio para utilizar solo el material que pasa el tamiz 4”.

Utilizaremos el molde del **proctor estándar** (T-99) con todos sus accesorios, empezaremos mezclando la muestra de suelo a la humedad óptima del suelo, luego dividimos la muestra en tres partes colocando de esta manera en el molde tres capas de 25 golpes cada uno, Braja M. Das (1985) en su libro Fundamentos de Ingeniería Geotécnica hace referencia a este tipo de definición, el numero de golpes (25 golpes/ capa), son generalmente las adoptadas para los suelos de grano fino que pasa la malla N° 4 (4.57mm), se usa si 20% o menos por peso de material retenido en la malla N°4.

FIGURA IV-10



Proctor estándar (T-99)

FIGURA IV-11



Moldes formados (T-99)



FIGURA IV-12



FIGURA IV-13



Suelo después de utilizar el proctor (T-99)

Una vez realizado todo este procedimiento, después de pasados 7 días. Se procede a la respectiva rotura mediante el gato hidráulico que cuenta con extensómetros que brindan las diferentes lecturas que serán utilizadas posteriormente en el cálculo de la cohesión.

FIGURA IV-14



Bloque sometido a compresión por el gato hidráulico

FIGURA IV-15



Rotura de la muestra

### **Compresión no confinada o Compresión simple (Muestra inalterada).-**

Primeramente para este ensayo se realizó la obtención de la muestra en el talud de análisis la muestra fue extraída con mucho cuidado ya que se la necesita sin ninguna rajadura o cualquier desperfecto, después fue llevada al laboratorio para su respectivo análisis donde se la tallo a una forma geométrica. Se procede a la respectiva rotura mediante el gato

hidráulico que cuenta con extensómetros que brindan las diferentes lecturas que serán utilizadas posteriormente en los cálculos de la cohesión.

FIGURA IV-16



Rotura de muestras inalteradas

FIGURA IV-17



Rotura de muestras inalteradas

## DATOS REQUERIDOS

Los datos necesarios para el desarrollo normal de este ensayo de laboratorio siguientes:

Peso fuente

Peso muestra

Altura inicial ( $H_i$ )

Diámetro inicial ( $D_i$ )

Área o sección inicial ( $A_i$ )

## NOMENCLATURA A UTILIZAR

La nomenclatura que utilizamos en este trabajo es la siguiente:

$H_i$  = Altura inicial de la probeta (cm).

$D_i$  = Diámetro inicial de la probeta (cm)

$A_i$  = Área de la sección transversal inicial ( $\text{cm}^2$ ).

$\delta$  = Deformación del anillo (lectura extensómetro) (mm).

$\Delta$  = Deformación de la probeta al someterla a presión (cm). $\xi$

$F$  = Fuerza (transformada de la deformación del anillo) (Kg).

$A_c$  = Área neta de sección transversal de la probeta ( $\text{cm}^2$ ).

$\sigma$  = Esfuerzo de aplicación ( $\text{kg/cm}^2$ ).

## ECUACIONES UTILIZADAS.

$$\xi = \frac{\Delta}{Hi}$$

$$Ac = \frac{Ai}{(1 - \xi)}$$

$$\sigma = \frac{F}{Ac}$$

Para la determinación del ángulo de fricción ( $\phi$ ) y la cohesión ( $C$ ), cabe hacer notar que este procedimiento solo se lo ejecuto para las muestras del talud “A” de Palos Blancos, ya que se trata de un suelo SM arena limosa.

CUADRO IV-1

### PROPIEDADES DE LOS SUELOS – PARÁMETROS DE DISEÑO APROXIMADOS

| Calificación | Descripción                                                  | Clasificación<br>SUCS     | Ángulo de<br>fricción<br>interna<br>[°] | Peso<br>unitario<br>[kN/m³] | Capacidad<br>de soporte<br>admisible<br>[MPa] |
|--------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|
| Bueno        | Arena, Grava, Piedra                                         | GW, GP, GM,<br>GC, SW, SP | 32 - 36                                 | 15.5 - 21.0                 | 0.4 - 4.0                                     |
| Moderado     | Arena limosa, Arena<br>arcillosa                             | SM, SC                    | 28 - 32                                 | 17.0 - 20.5                 | 0.2 - 0.5                                     |
| Difícil      | Limo, Arcilla de baja<br>plasticidad                         | ML, CL, OL                | 25 - 30                                 | 17.0 - 20.0                 | 0.1 - 0.2                                     |
| Malo         | Arcillas y Limos de<br>alta plasticidad, Suelos<br>orgánicos | CH, MH, OH, PT            | 0 - 25                                  | 8.0 - 17.5                  | 0.0 - 0.1                                     |

Fuente:

PirkaSoft v1.0  
MANUAL DE USUARIO Y REFERENCIA TÉCNICA  
CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO



## 4.5.2.2 RESULTADOS

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.

- Los resultados del ensayo de densidad in situ se muestran a continuación:

**DENSIDAD EN SITU**  
**CUADRO IV-2**

| Descripción del tramo            | Densidad (gr/cm <sup>3</sup> ) |
|----------------------------------|--------------------------------|
| <b>Talud “A” (Palos Blancos)</b> | 1.82                           |

Fuente: Elaboración Propia

- La muestra del talud “A” (Palos Blancos), de acuerdo al ensayo realizado de granulometría y límites de Atterberg , se tienen la siguiente clasificación:

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS**  
**CUADRO IV-3**

| Nº Muestra                       | Clasificación S.U.C.S                        | Clasificación AASHTO                                     |
|----------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>Talud “A” (Palos Blancos)</b> | SM (arenas limosas, arenas limosas-gravosas) | A-2-4(0) (Mesclas de gravas, y arenas limosas y arcilla) |

Fuente: Elaboración Propia

- Los resultados el ensayo del hidrómetro realizado en laboratorio se obtuvieron el porcentaje de limo y arcilla contenidos en el talud, se tienen los siguientes resultados.

**HIDRÓMETRO**  
**Cuadro IV-4**

|                   |       |
|-------------------|-------|
| % Pasa 200        | 100   |
| % Limo Parcial    | 91.42 |
| % Arcilla Parcial | 8.58  |

Fuente: Elaboración Propia

- Los resultados del ensayo de peso específico relativo realizado en laboratorio, con las muestras extraída del talud en estudio, el valor obtenido de convierte en las unidades como se muestra a continuación:

**PESO ESPECÍFICO RELATIVO**  
**CUADRO IV-5**

| Nº Muestra       | Peso Específico Relativo                                 |                      |
|------------------|----------------------------------------------------------|----------------------|
|                  | (gr. /cm <sup>3</sup> )<br>determinado<br>en Laboratorio | (KN/m <sup>3</sup> ) |
| <b>Talud “A”</b> | 1.69                                                     | 16.68                |

Fuente: Elaboración Propia

- El ensayo de Ángulo de fricción realizado en el talud de Palos Blancos, se presenta en el siguiente cuadro:

**ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA**  
**CUADRO IV-6**

| Nº Muestra       | Ángulo de Fricción (°) |
|------------------|------------------------|
| <b>Talud “A”</b> | 32                     |

Fuente: Elaboración Propia

- El ensayo de compresión no confinada realizado en el talud de Palos Blancos, se obtuvo la cohesión se presenta en el siguiente cuadro:

**COMPRESIÓN NO CONFINADA**  
**CUADRO IV-7**

| Nº Muestra       | Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )                             |                      |
|------------------|------------------------------------------------------------|----------------------|
|                  | (gr./cm <sup>2</sup> )<br>determinado<br>en<br>Laboratorio | (KN/m <sup>2</sup> ) |
| <b>Talud “A”</b> | 0.20                                                       | 20                   |

Fuente: Elaboración Propia

## RESUMEN DE LOS RESULTADOS

CUADRO IV-8

| MUESTRA                              | Clasificación<br>SUCS                                  | Clasificación<br>AASHTO                                           | P.E.<br>relativo<br>(KN. /m <sup>3</sup> ) | Angulo de<br>Fricción<br>Interna<br>(°) | Cohesión<br>( KN/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Talud “A”<br/>(Palos Blancos)</b> | SM (arenas<br>limosas, arenas<br>limosas-<br>gravosas) | A-2-4(0)<br>(Mesclas de<br>gravas, y arenas<br>limosas y arcilla) | 16.68                                      | 32                                      | 20                                |

Fuente: Elaboración Propia

### 4.6 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SUELO REFORZADO CON LA TÉCNICA DE TERRAMESH.

#### 4.6.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SUELO REFORZADO TERRAMESH.

El tipo de relleno estructural que recomienda empresa Maccaferri para este tipo de obra no tiene una especificación técnica definida, con la intención no limitar la aplicación de dicha técnica. Es por eso que la elección del relleno estructural es criterio del proyectista. Pero la amplia experiencia de la empresa Maccaferri recomienda que se utilice material de terraplén. (Sub – Base). Los valores granulométricos examinados van desde los materiales mas finos, con una granulometría inferior o igual a 0.02 mm (porcentaje que no debe de superar al 10%), a piedras de mayores dimensiones (hasta 200mm).

Para este trabajo se adopto por utilizar el mismo suelo del talud, se trata de un suelo no expansible y cumple con las especificaciones recomendadas por la empresa Maccaferri, por lo que la obra tendrá menos costo.

La selección de los valores adoptados se hizo con el criterio de favorecer la seguridad del muro de suelo de refuerzo. Considerando que en la construcción esta calidad de suelo sea mayor, así de esta forma asegurar la estabilidad y durabilidad de la obra.

### **Tipos de rocas que constituyen el relleno del gavión.**

Los materiales utilizados para construcción de la obra, se tiene un banco de préstamo se Trata de una cantera de ladera Chirimoyal de la población de Chimeo A 5 Km, de donde se encuentra el talud de estudio, se extraerá material para el relleno del gavión sus características se encuentran en la tabla IV - 1.

Las consideraciones que el proyectista hace para que el diseño, se resumen en la siguiente tabla.

**TABLA IV-1**

**Datos para Realizar el Análisis de Estabilidad**

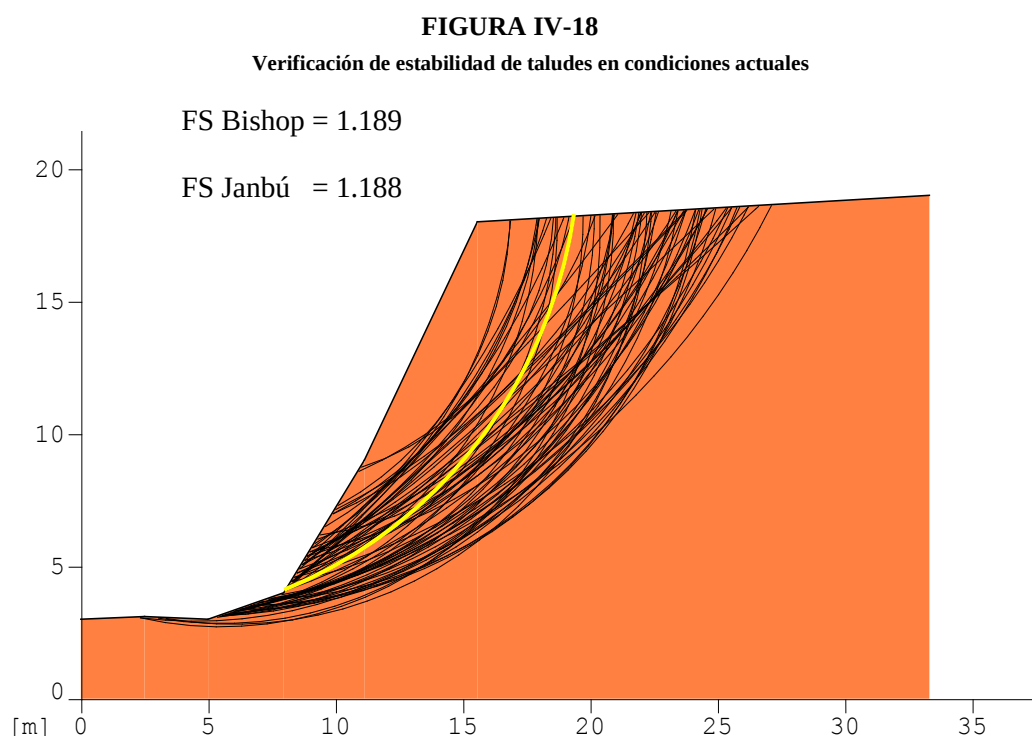
| <b>Datos Geometricos</b>     |               |
|------------------------------|---------------|
| Altura del muro (H)          | 9             |
| Base (0,6H)                  | 5,4           |
| Longitud de refuerzo         | 6             |
| Unidad Terramesh System      | 1X1X6 - 1X1X3 |
| <b>Relleno Estructural</b>   |               |
| Tipo de suelo                | SM            |
| cohesión                     | 20KN/m2       |
| Peso especifico              | 16,68 KN/m3   |
| Angulo de friccion interna   | 32°           |
| <b>Relleno para el talud</b> |               |
| Tipo de suelo                | SM            |
| cohesión                     | 20 KN/m2      |
| Peso especifico              | 16,68 KN/m3   |
| Angulo de friccion interna   | 32°           |
| <b>Suelo Natural</b>         |               |
| Tipo de suelo                | SM            |
| cohesión                     | 20 KN/m2      |
| Peso especifico              | 16,68 KN/m3   |
| Angulo de friccion interna   | 32°           |
| <b>Relleno del gavion</b>    |               |
| Tipo de roca                 | cuarcita      |
| cohesión                     |               |
| Peso especifico              | 17,5KN/m3     |
| Angulo de friccion interna   | 40°           |

**Fuente: Elaboración propia**

#### 4.6.2 VERIFICACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUD APLICANDO LAS ECUACIONES DE FELLENIUS, BISHOP Y JANBÚ (MODIFICADOS) EN LAS CONDICIONES ACTUALES.

El análisis se realizó al talud ubicado en la progresiva 70 + 000 en el tramo Chimeo – Palos Blancos, en las condiciones actuales del área investigada se puede realizar una verificación de estabilidad de taludes ya que el talud presenta señales de falla alguna en su estructura.

Para ello se realizó el análisis de estabilidad por las ecuaciones de Fellenius, Bishop y Janbú en forma manual y se utilizó el programa MACSTAR 2000 que es una herramienta bastante eficaz en el cálculo de estabilidad de taludes aplicando las ecuaciones Bishop y Janbú (modificados), como se muestra en la figura.



Se realizaron verificaciones de resultados manualmente:

$$\text{FS Fellenius} = 1.195$$

$$\text{FS Bishop} = 1.187$$

$$\text{FS Janbú} = 1.186$$

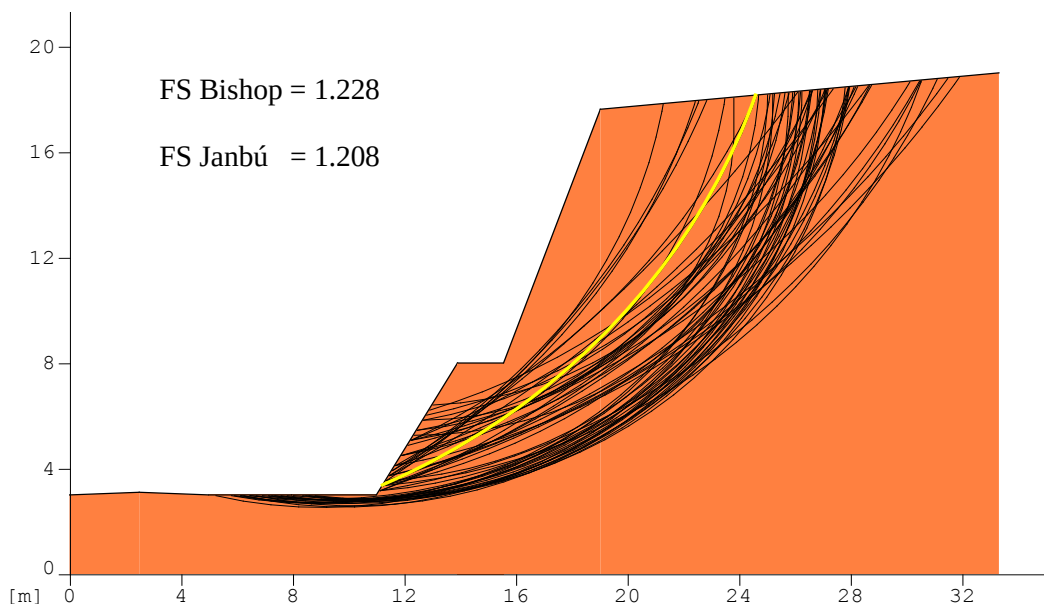


#### 4.6.3 VERIFICACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL DISEÑO DE UN MURO DE SUELO REFORZADO CON LA TÉCNICA DE TERRAMESH.

Para el diseño de esta estructura Terramesh se propone un corte en el terreno natural el cual ayudara para que la estructura sea emplazada y entre en contacto con el terreno para ello se garantizar la estabilidad del talud de corte para que en la construcción de un muro de suelo reforzado el terreno natural cortado se mantenga estable siendo el caso se debe recomendar que el talud proyectado en corte sea de 1:1 (para suelos finos a una altura no mayor de 6m), por que se tomo en cuenta una de sus ventajas desde el punto vista exclusivamente económico, es posible afirmar que el sistema Terramesh son viables para estructuras de 3 hasta 20 metros de altura, arriba de los 8m es aconsejable evaluar la posibilidad de usar geogrillas como refuerzo adicional. Para el análisis se procedió a la utilización de las ecuaciones de de Fellenius, Bishop, Janbú en forma manual y también se utiliza el programa MACSTAR 2000 en el talud natural (área de estudio) en condiciones de diseño los resultados se muestran en la siguiente figura.

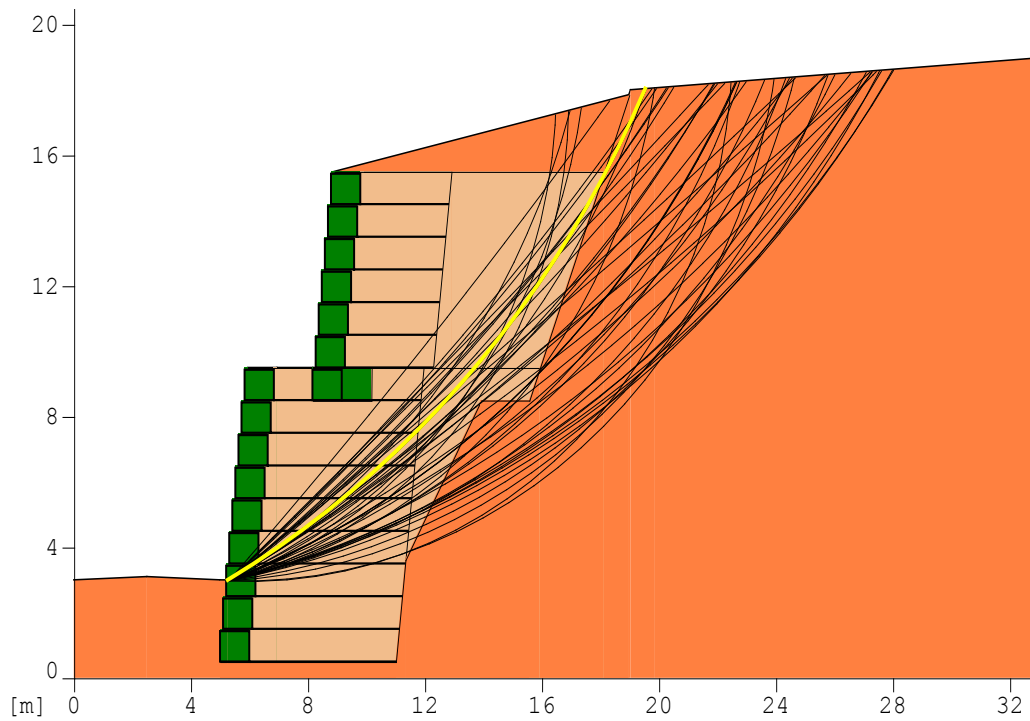
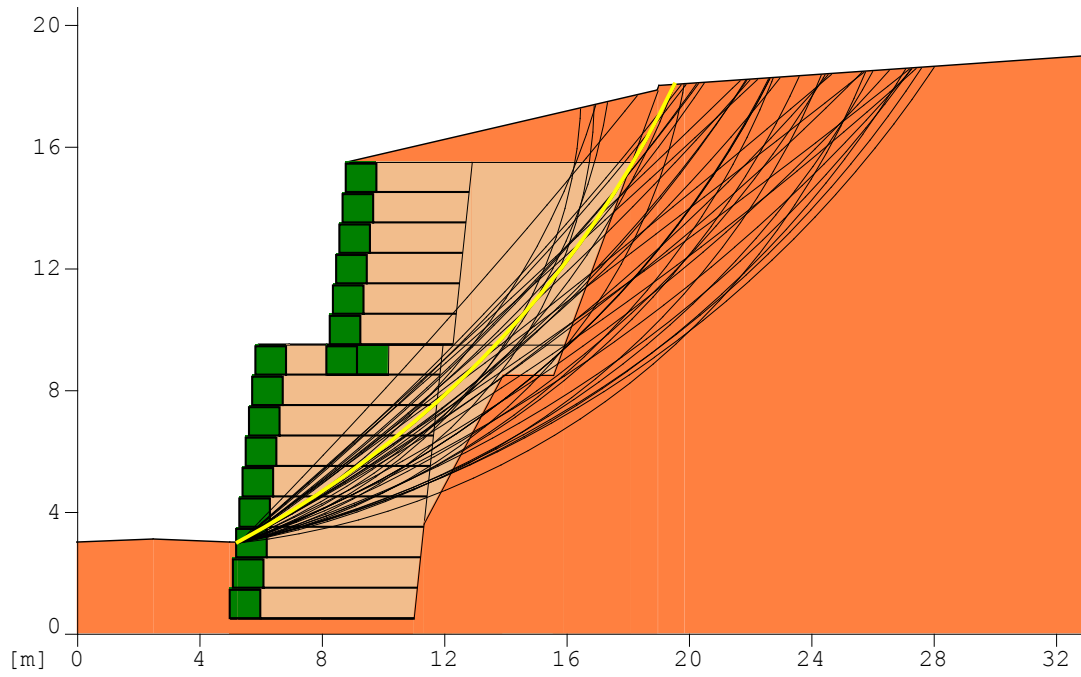
**FIGURA IV-19**

Verificación de estabilidad con el corte



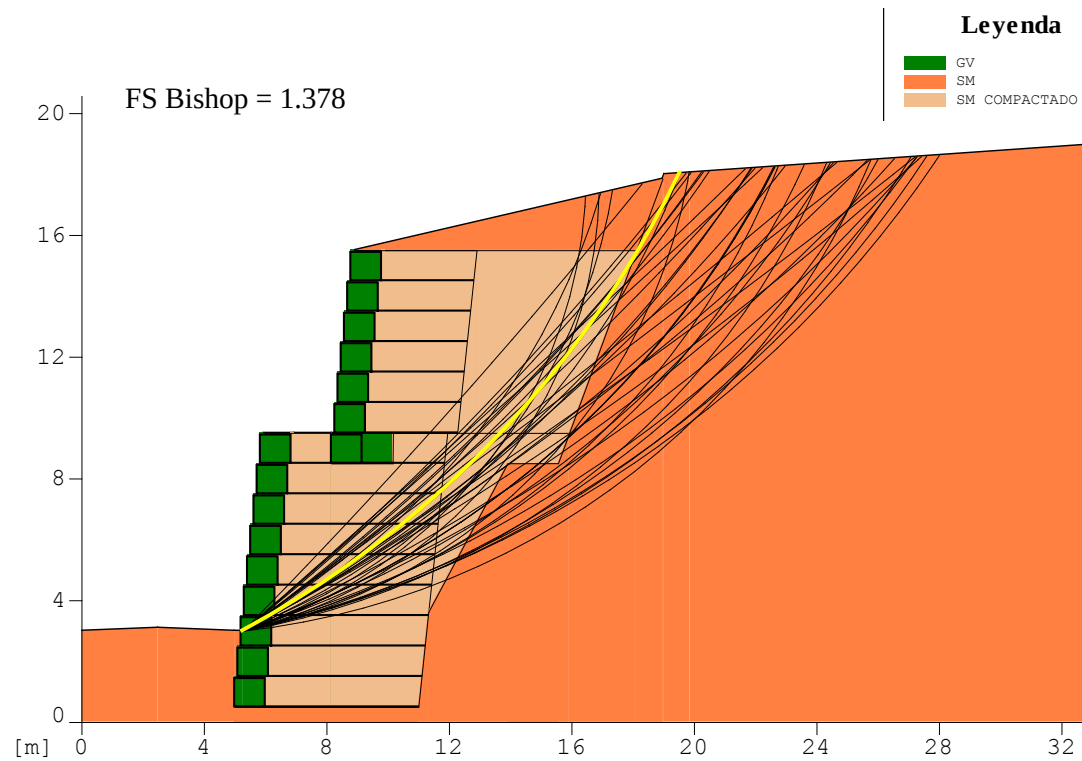
Se realizo verificaciones de resultados manualmente: FS Fellenius = 1.298,

FS Bishop = 1.227, FS Janbú = 1.206



**FIG. IV-20 Sección optima del muro de contención de suelo reforzado con la técnica de Terramesh**

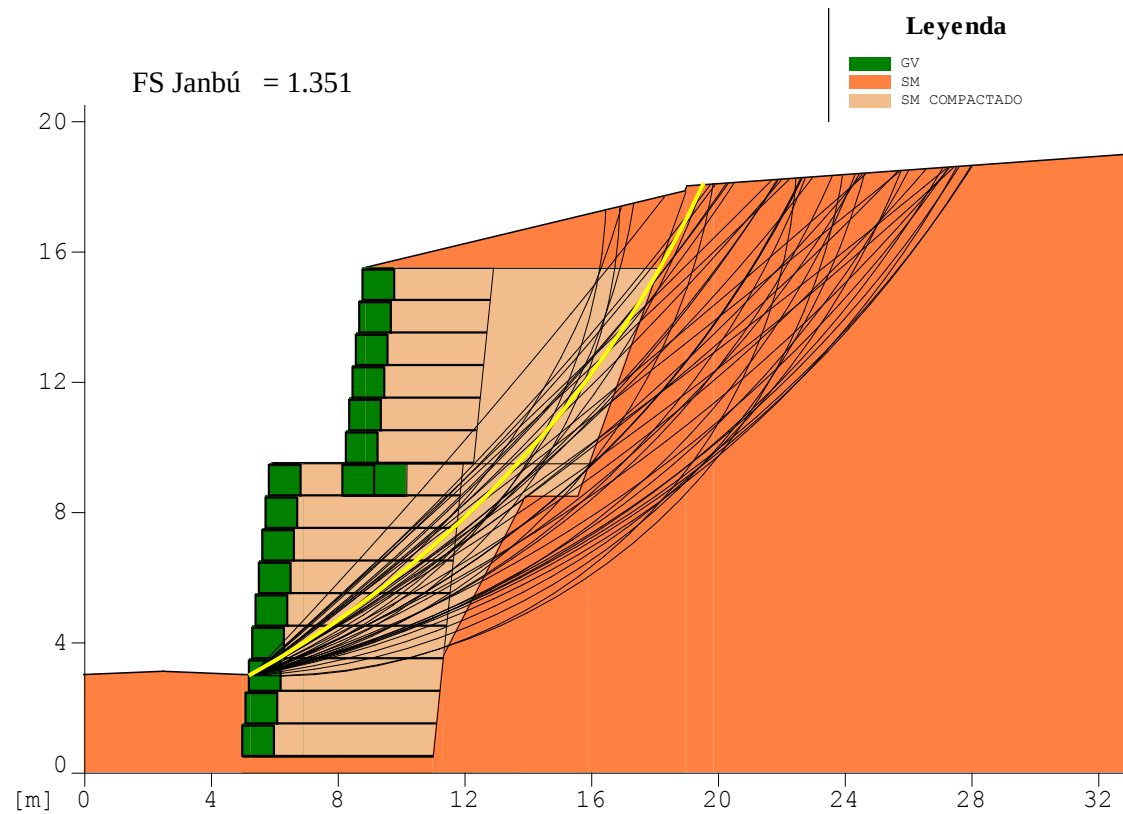
**Análisis de estabilidad Interna según Bishop**



Se realizó verificaciones de resultados manualmente: FS Fellenius = 1.403, FS Bishop = 1.389

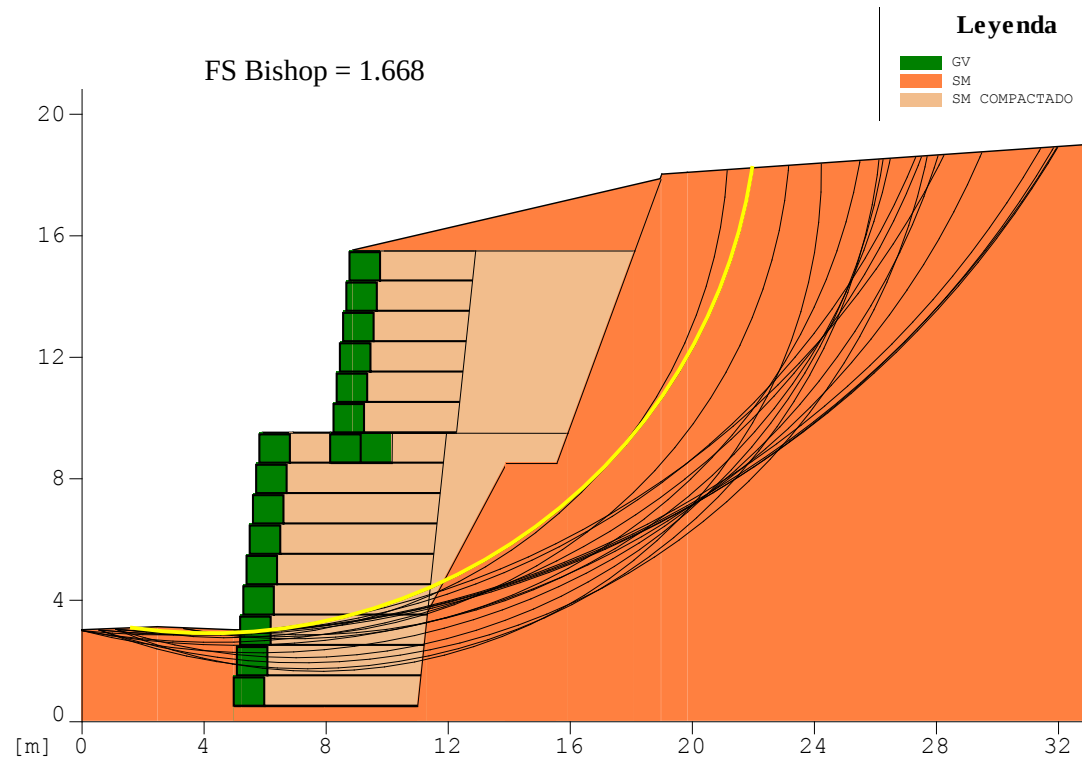
**FIG. IV-21 Sección optima del muro de contención de suelo reforzado con la técnica de Terramesh**

**Análisis de estabilidad Interna según Janbú**



Se realizo verificaciones de resultados manualmente: FS Janbú = 1.355

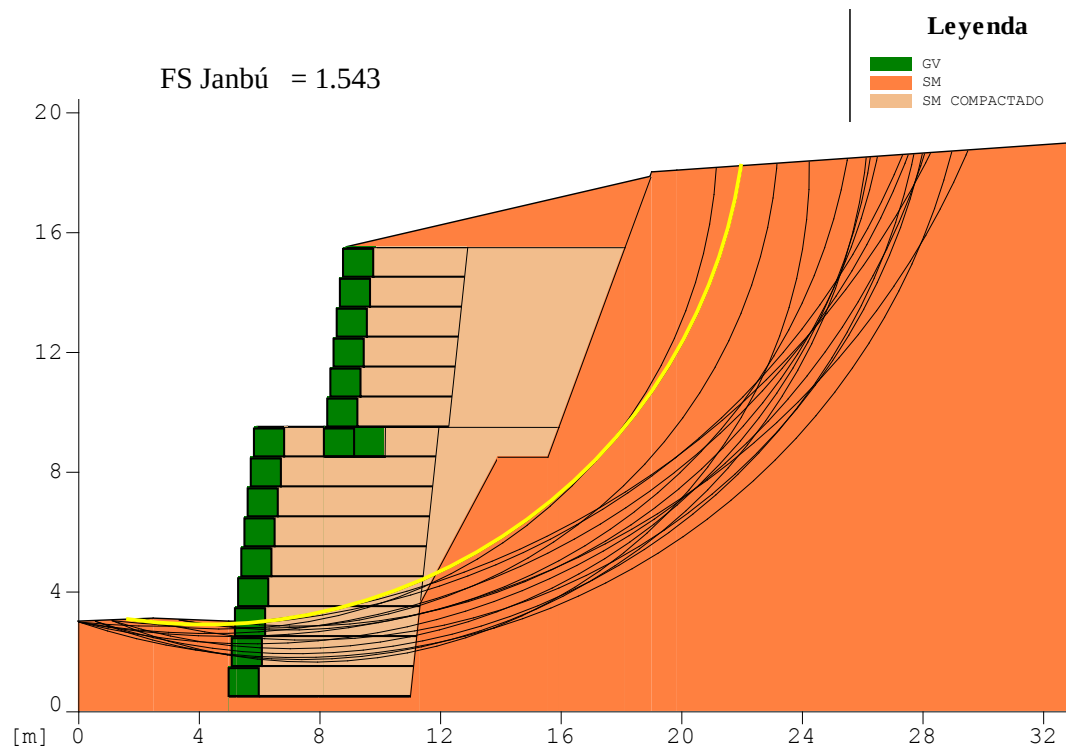
**FIG. IV-22 Sección optima del muro de contención de suelo reforzado con la técnica de Terramesh**  
**Análisis de estabilidad Global según Bishop**



Se realizó verificaciones de resultados manualmente: FS Fellenius = 1.7745, FS Bishop = 1.541

**FIG. IV-23 Sección óptima del muro de contención de suelo reforzado con la técnica de Terramesh**

**Análisis de estabilidad Global según Janbú**



Se realizo verificaciones de resultados manualmente: FS Janbú = 1.497

## **4.7 ANALISIS DE LOS RESULTADOS**

### **4.7.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL TALUD**

Las condiciones actuales del área de estudio son favorables para el estudio estabilidad de taludes ya que el talud con los recientes cortes posee una sección transversal casi uniforme, con pendiente y un ángulo de elevación constante. Los cuales son ideales para la aplicación de las ecuaciones de Fellenius, Bishop y Janbú.

Los resultados obtenidos no son alentadores ya que los factores de seguridad por el programa MACSTAR 2000 aplicando la ecuación de Bishop se obtuvieron un valor de  $FS=1.189$ , que nos quiere decir que el talud se encuentra con una seguridad dudosa.

Por la ecuación de Janbú nos dieron valores de  $FS=1.188$ , que nos quiere decir que el talud se encuentra con seguridad dudosa según Tabla III-1 del capítulo III del presente estudio, esto no significa que el talud es inestable sino que posee un equilibrio muy frágil lo que significa que muy pronto se presentara una falla o deslizamiento.

El análisis de la estabilidad también se lo realizó en forma manual utilizando las ecuaciones de Fellenius, Bishop, Janbú. De lo cual se determinó un círculo crítico de falla, como tal análisis es hecho a través de un proceso iterativo. Son necesarios varios análisis, se optó por demostrar el procedimiento de cálculo para la superficie crítica.

Los resultados obtenidos de factor de seguridad por las ecuaciones de Fellenius nos dieron un valor de  $FS = 1.195$ , con la ecuación de Bishop nos dieron factores de seguridad de  $1.187$ , con la ecuación de Janbú se obtuvieron factores de seguridad de  $1.186$ . Los resultados de los factores de seguridad no están por encima del coeficiente mínimo de  $1.2$  según Tabla III-1 del capítulo III del presente estudio, esto no significa que el talud es inestable si no que posee un equilibrio muy frágil lo que significa que muy pronto se presentara una falla.

Para el diseño o emplazamiento de una obra de estabilización, se tomara en cuenta el factor de seguridad de Janbú ya que este método tiene un factor de corrección que está en función de la profundidad del círculo de falla.

#### 4.7.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL CORTE ESTABILIZADOR

Con el fin de analizar la estabilidad del talud en el corte proyectado, que es la preparación de la superficie de contacto entre el terreno natural y el relleno es por eso que se planteo corte con banquetas, de forma que se garantice una perfecta adherencia, impidiendo la formación de superficies preferenciales de deslizamientos, las cuales fueron analizadas con las ecuaciones de de Fellenius Bishop y Janbú ,manualmente y mediante el programa MACSTAR hacer notar que el programa solo trabaja con las ecuaciones de Bishop y Janbú, los factores de seguridad para ambos están por encima de lo recomendado según Tabla III-1 del capítulo III del presente estudio , se obtuvo factores de FS Bishop = 1.228, FS Janbú = 1.1.208. Manualmente se obtiene los siguientes factores de seguridad: FS Fellenius = 1.1.298, FS Bishop = 1.227, FS Janbú = 1.206, lo que quiere decir que el talud estará en equilibrio y no presentara deslizamiento alguno.

#### 4.7.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL MURO DE SUELO REFORZADO

El análisis de estabilidad de taludes aplicados a un muro de suelo reforzado nos lleva concluir que el muro geométricamente es óptimo aprovechando al máximo las propiedades de resistencia del suelo de relleno con respecto a otras geometrías anteriormente propuestas, el análisis de estabilidad se realizo manualmente y con el programa MACSTAR. Claramente se puede evidenciar que tanto con el programa como manualmente los factores de seguridad son superiores a lo recomendado de 1.2 como se muestra a continuación:

El análisis de la verificación interna permite determinar el “proyecto” de la estructura de contención. Como tal análisis es hecho a través de un proceso iterativo, son necesarias varios análisis para determinar el Factor de seguridad mínimo, se opto por demostrar el procedimiento de calculo de la superficie critica predeterminada, con el programa MACSTAR, se obtiene factores de seguridad por las ecuaciones de FS Bishop = 1.378 y FS Janbú = 1.351, se obtiene verificaciones de resultados manualmente con las ecuaciones de: FS Fellenius = 1.402, FS Bishop =1.389 y FS Janbú = 1.355, los valores



obtenidos tanto con el programa y manualmente, nos quiere decir que el talud esta en equilibrio según Tabla III-1 del capítulo III del presente estudio. Claramente se puede evidenciar factores de seguridad mas elevados, la diferencia entre los valores de seguridad no es muy considerable tratándose del análisis interno entre Fellenius, Bishop y Janbú corregido el criterio del proyectista es de adoptar el Factor de seguridad de Janbú para la estabilidad interna, Janbú posee un factor de corrección ya que no este cumpliendo las ecuaciones de equilibrio tomando en cuenta un análisis de mas real.

El análisis de la verificación global o estabilidad básica es el análisis a un talud reforzado o no, hecho por el método del equilibrio limite. Se obtiene valores de FS Bishop = 1.668 y FS Janbú = 1.543, se obtiene verificaciones de resultados manualmente: FS Fellenius = 1.7745, FS Bishop = 1.541 y FS Janbú = 1.497, estos valores nos quieren decir que el talud con el muro reforzado esta en equilibrio según Tabla III-1 del capítulo III del presente estudio, Con respecto a la estabilización global se ve conveniente adoptar el factor de seguridad de Bishop ya que esta de lado de la seguridad y además por tratarse de grandes círculos de falla análisis de momentos generados por el peso propio de las dovelas tienen un efecto que Bishop considera en sus ecuaciones.

## **4.8 ANALISIS DE COSTOS**

### **4.8.1 LA ESTRUCTURA DEL COSTO**

Para el establecimiento del costo del proyecto y la definición de precios unitarios que sirven de base para el establecimiento de costos referenciales del presente proyecto, se propone una estructura de costos basada en estructuras definidas de varias instituciones como la Cámara Boliviana de la Construcción, el Gobierno Municipal de Entre Ríos y otras que son representativas y definen precios razonables para el mercado local de la construcción.

La estructura de costos básicos tiene los siguientes componentes:

#### **4.8.1.1 MATERIALES**

Este rubro nos proporciona el primer elemento del precio unitario y es el resultado de la aplicación de la cantidad de materiales que conforman parte de una obra por su precio unitario.

La cantidad de materiales se determina mediante un estudio analítico, en el cual se considera el insumo que arroja cada uno de los componentes al que se adiciona las pérdidas producidas por corte resultante de la colocación, rotura y fractura durante el transporte o manipuleo y en general desperdicios que imposibilitan su empleo en la obra.

Los materiales a emplearse en el proyecto, corresponden en su mayoría a materiales de procedencia nacional e importada que se encuentran en el mercado local de la ciudad de Tarija y cuyos rendimientos en los diferentes ítems, fueron tomados del diseño de ingeniería, en función a los volúmenes de obra determinados.

Los costos fueron tomados del mercado local e información de costos de la revista Presupuesto y Construcción y de los costos que maneja el gobierno Municipal de Entre Ríos.

#### **4.8.1.2 MANO DE OBRA**

El rubro se halla condicionado a dos factores: el precio que se paga por ella o SALARIO y el tiempo de ejecución de la unidad de obra o RENDIMIENTO y a tres sistemas de Trabajo: Jornal, Contrato y Destajo.

El salario se halla regulado por la ley de la oferta y la demanda, siendo muy variable inclusive con relación a los distintos sitios del país, en todo caso existe un precio mínimo establecido por el Ministerio de Trabajo. El Rendimiento es el método y sistemas constructivos utilizados por los obradores.

En este caso los rendimientos fueron tomados de obras similares desarrolladas en la ciudad de la paz y el alto y los costos y salarios a pagar del mercado laboral local. Los mismos que tienen incidencias como las cargas sociales, referidas a: Subsidios, aportes a entidades, antiguas y de seguridad industrial.

#### **4.8.1.3 HERRAMIENTAS, MAQUINARIA Y EQUIPO**

Este rubro es considerado generalmente como un porcentaje de la mano de obra,

Generalmente 5 %. Este rubro esta destinado a la reposición de herramientas y equipos que son propiedad de la Empresa proporcionados a los obreros para la ejecución de las obras y que debido al uso en primer lugar y luego obsolescencia, se hacen en cierto momento

inutilizables e imprescindible contar con un fondo de reserva para sustituirlos por elementos nuevos y/o moderados. El equipo mayor tiene un costo en función del tipo y su rendimiento.

#### **4.8.1.4 RECARGOS**

Se tiene dos recargos, que corresponden a las cargas sociales 55% y el impuesto al valor agregado IVA 14.94%.

#### **4.8.1.5 IVA DE LA MANO DE OBRA**

De acuerdo a los **D.S. 21530,21531 Y 21532** el pago de los impuestos sobre los ingresos (IVA impuesto al valor agregado) equivale al 13%, porcentaje que en el caso de empresas constructoras, se aplica únicamente a la mano de obra directa, debido a que las empresas pueden descontar con facturas de materiales.

### **4.8.2 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS**

Existen gastos que siendo imputables a la obra misma, no son claramente determinados por que no intervienen en forma directa y no pueden ser asignados a ningunos de los rubros anteriormente mencionados y otros en cambio que son independientes de la obra y que se erogan aun en circunstancias en que la empresa tenga bajo el presente rubro y que forma parte del precio unitario con un porcentaje de los gastos directos como se vera mas adelante.

Se refiere a gastos que incurre el contratista en la preparación, presentación de propuestas y la administración de la obra, pero que no se identifiquen como la mano de obra misma y cuya incidencia en costo puede ser diferente para cada obra. Para una referencia del detalle de su composición en una obra de características corrientes, se presenta el siguiente análisis.

#### **4.8.3 GASTOS ADMINISTRATIVOS**

| <b>Detalle</b>                       | <b>% del Costo Directo</b> |
|--------------------------------------|----------------------------|
| ✓ Materiales de escritorio, limpieza | 0.2                        |
| ✓ Agua, luz, teléfono, radio, etc.   | 0.15                       |

|                                                                      |      |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| ✓ Mantenimiento vehículos                                            | 1.0  |
| ✓ Alquiler de oficina, deposito                                      | 0.25 |
| ✓ Servicio personales ( gerente, contador,<br>Secretaria, mensajero) | 4.0  |
| ✓ Seguros                                                            | 0.5  |
| ✓ Impuestos y patentes municipales                                   | 5.0  |

|                           |              |
|---------------------------|--------------|
| <b>1 <u>Sub Total</u></b> | <b>11.10</b> |
|---------------------------|--------------|

#### 4.8.4 GASTOS DE PROPUESTA Y CONTRATOS.

| Detalle                                                                                                   | % del Costo Directo |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| ✓ Compra de pliego y planos                                                                               | 0.1                 |
| ✓ Preparación propuesta, certificados, etc.                                                               | 0.4                 |
| ✓ Boletas bancarias ( de propuesta, buena inversión<br>Anticipo, cumplimiento de contrato,Buena ejecución | 2.0                 |
| ✓ Laboratorios de ensayos de materiales                                                                   | 0.1                 |
| ✓ Ejecución planos finales                                                                                | 0.05                |
| <b><u>Sub Total</u></b>                                                                                   | <b>2.65</b>         |

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| Porcentaje total de gastos generales | 13.75% |
|--------------------------------------|--------|

|                                              |        |
|----------------------------------------------|--------|
| Porcentaje de gastos generales (recomendado) | 14.00% |
|----------------------------------------------|--------|

#### 4.8.5 UTILIDAD

La utilidad es el beneficio que busca la empresa en la realización de las obras, y por consiguiente su fijación en porcentaje es difícil de determinar. Generalmente las entidades del sector público conceden un 10% de utilidad al contratista del costo directo de la obra.

#### **4.8.6 IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES**

En virtud a disposiciones legales, con la ley 1606, que determina un impuesto a las transacciones sobre un a base imponible que signifique el total de los ingresos menos el IVA, en mientras estructura de precios unitarios representa el 3. % sobre el costo directo mas recargos y utilidad.

A continuación se presenta un esquema de la estructura de costos de este proyecto con las consideraciones hechas anteriormente.

#### **4.9 PRESUPUESTOS**

En base a las cantidades de obra determinadas y al análisis de precios unitarios de cada uno de los ítems del presente estudio, se han determinado los presupuestos correspondientes a cada una de las alternativas estudiadas.

Los principales rubros de construcción considerados en el análisis de presupuesto de obra son:

- ✓ Instalación de Faenas
- ✓ Movimiento de Tierras
- ✓ Muro de Suelo Reforzado con la Técnica Terramesh System
- ✓ drenaje
- ✓ Retiro de Escombros

##### **Instalación de faenas**

Comprenden los ítems “Instalación de Faenas” donde se considera la Construcción, traslado y/o ampliación de los Campamentos de Obra incluidos todos los Servicios para el Ingeniero.

##### **Movimiento de tierras**

El rubro de Movimiento de Tierras está definido a través de los siguientes ítems:

- ✓ Replanteo Topográfico
- ✓ Excavaciones con retroexcavadora
- ✓ Transporte de material del Banco de préstamo

### **Drenaje**

El rubro de drenaje comprende la construcción de cunetas a lo largo de todo el muro de suelo reforzado. Se han considerado para construcción de un cuneta revestida, y un tubo de drenaje perforado PVC D = 6”.

Los ítems considerados en el rubro de drenaje son:

- ✓ Cuneta lateral revestida al pie del talud
- ✓ Tubo perforado PVC D = 6”

### **Retiro de Escombros**

Se consignan dentro de este rubro todo el material que no sirve una vez terminada la obra

#### **4.9.1 Cálculo de Presupuesto**

Para el cálculo de presupuestos se ha tomado en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Análisis de estabilización de taludes con mayor porcentaje de arena en la siguiente progresiva:
  - 70 + 000 Palos Blancos.
- ✓ Análisis del volumen de material del corte realizado al talud.
- ✓ Se busca un banco de préstamo para realizar el relleno y compactado estructural.

Después de plantea la solución para estabilizar el talud de estudio con un diseño de un muro de suelo reforzado con la técnica Terramesh, puesto que técnicamente cumple con lo requerido, además que esta solución es la más económica.

A partir de dichas consideraciones se presenta a continuación los resúmenes de Presupuesto General de la alternativa con una duración de 59 días calendario.

**Tabla IV-2 costo total de la obra**

| Descripción                              | Costo         |
|------------------------------------------|---------------|
|                                          | 594.637,2Bs.  |
| Suelo reforzado con la técnica Terramesh | 84.107,10\$US |





## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

Concluido la investigación de estabilidad de taludes se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Es fundamental el estudio de los diferentes tipos y mecanismos de falla circulares, con la intención de poder clasificar dentro de un tipo de deslizamiento en particular el resultado nos indica que es un deslizamiento translacionales el cual es común en zonas donde la topografía han sido removidos y donde se encuentra estratos de arcilla blanda o de arenas finas o limos no plásticos.
- Con la información inicial que proporcionada por la “ABC” sobre el tipo de suelo y la geología de los taludes del tramo, se evidenció los taludes en riesgo de falla los cuales son 11 taludes, lo cual nos abocamos a un solo talud, ubicado en la zona de Palos Blancos sobre la progresiva. 70 +000, se trata de suelos arenosos, como así lo precisa el enfoque del proyecto, el mismo que se verifico en campo y los resultados se muestran en Anexos.

Para mayor precisión se realizo la extracción de muestra para analizar en laboratorio las características del suelo lo cual se obtuvo los siguientes valores:

RESUMEN DE LOS RESULTADOS  
CUADRO V-1

| MUESTRA                              | Clasificación<br>SUCS                              | Clasificación<br>AASHTO                                              | P.E.<br>relativo<br>(KN. /m <sup>3</sup> ) | Angulo de<br>Fricción<br>Interna<br>(°) | Cohesión<br>( KN/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Talud “A”<br/>(Palos Blancos)</b> | SM (arenas<br>limosas, arenas<br>limosas-gravosas) | A-2-4(0)<br>(Mesclas de<br>gravas, y arenas<br>limosas y<br>arcilla) | 16.68                                      | 32                                      | 20                                |

Fuente: Elaboración Propia

- Para la aplicación de las ecuaciones de Fellenius, Bishop y Janbú es importante saber los parámetros de resistencia del suelo como ser el Angulo de fricción interna del suelo y la cohesión estos parámetros son fundamentales en la aplicación del equilibrio de fuerzas ya que su mala aplicación o estimación llevan a resultados erróneos. Un ejemplo de mala aplicación de las ecuaciones de Fellenius, Bishop y Janbú es el de creer que ambos comparten un solo círculo critico, eso es falso Fellenius, Bishop y Janbú no solo obtiene factores de seguridad diferentes sino también círculos o líneas de falla diferentes.
- Podemos establecer que el análisis de Fellenius, Bishop y Janbú en cuanto a la estabilidad de taludes lo hacen mediante el método de las dovelas, que consiste en dividir la probable masa deslizante en fragmentos iguales. Estos métodos están basados en el equilibrio de momentos y fuerzas, pero ambos métodos asumen que ya sea las fuerzas interfragmentos es cero o no satisfacen la ecuaciones de equilibrio de momentos respectivamente. Lo cual hace que estas ecuaciones no sean muy complejas y además en el campo de aplicación a dado buenos resultados. Pero se recomienda que se utilice los factores de seguridad de Janbú ya que este posee un factor de corrección al factor de seguridad final, tratando de compensar la ecuación de equilibrio no cumplida a diferencia de Bishop que no posee dicho factor.
- El Sistema Terramesh System es adecuado para estabilizar taludes de este tipo de suelos, pone en consideración a una solución definitiva a los deslizamientos ocurridos en el área de estudio (zona Palos Blancos). Constituyéndose en una solución no tradicional ya que esta no genera impactos ambientales negativos, mas al contrario ayuda en la recuperación de tierras, las cuales han sido afectadas por los deslizamientos o la erosión, restituyendo la vegetación existente en el lugar.
- Es importante verificar la estabilidad del talud en las condiciones naturales actuales, puesto que los valores de factor de seguridad en el talud estudiado nos dan valores entre 1.0 – 1.2 lo cual nos indica que el talud tiene una seguridad frágil o que en algún momento va a deslizarse

- El programa MACTARS, nos ha permitido realizar el análisis de estabilidad en corte y del muro de suelo reforzado en el talud de Palos Blancos, lo cual se verifico manualmente y nos dieron valores de factor de seguridad aproximados por lo que no varia mucho con los valores de factor de seguridad del programa, es confiable su utilización ya que el programa MACTARS calcula la estabilidad por los métodos de Bishop y Janbú , los cuales son modelos matemáticos que simulan las diferentes fallas circulares que se podrían darse en todo el corte o todo el muro de suelo reforzado.
- Lo que se pretende con el presente proyecto es dar una solución viable y económica el costo total de la obra de suelo reforzado con la técnica Terramesh tiene un valor de 594.637,2 Bs, con una duración de 59 días Calendario.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Es de hecho que el área de estudio necesita soluciones definitivas para los deslizamientos que afectan la libre circulación de los vehículos la estructura antes planteada reúne todos los requisitos para brindar seguridad ante los fenómenos de deslizamiento, bajo impactos ambientales en la zona, no requiere de mano de obra calificada y es económica que emplea el mismo suelo de la zona.
- Se recomienda el control de calidad de los materiales por que es fundamental en este tipo de obra ya por tratarse de muro de suelo reforzado, el material de relleno debe de ser de buena calidad de tal forma que se garantice los requerimientos mínimos para asegurar la estabilidad del muro de suelo reforzado.
- La utilización de programas en el campo de la Ingeniería Civil hoy por hoy es cada vez mas amplio, mas al contrario del Ingeniero Civil debe conocer los modelos matemáticos que están siendo usados en el programa y así de esta forma evitar errores de gran magnitud, y verificar los resultados que arroja dicho programa.
- 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.
- Para realizar un análisis de estabilidad usando los métodos de Fellenius, Bishop y Janbú, se recomienda que el ancho de dovela sean iguales porque, a mayor número de dovelas, los resultados del análisis se hacen más confiables.