

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES.

El crecimiento vial en nuestro país desde hace ya años atrás, tanto en vías urbanas como en carreteras propiamente dichas implica el uso de suelo, muchas veces se trata de suelos con cierto grado de dificultad para su construcción, debido principalmente a la diversa topografía que presenta toda nuestra región.

Uno de los problemas que muy a menudo necesita resolver el ingeniero de caminos es el correspondiente a los fenómenos de inestabilidad de taludes en cortes y terraplenes.

Las presiones hidrostáticas en el interior de un talud se calcula por medio de la red de flujo esta es una solución gráfica de la ecuación general de escurrimiento de los líquidos a través de medios porosos.

Las condiciones hidráulicas de frontera son aquellas que existen en los límites de la zona de suelo saturado y agua.

El límite entre suelo saturado y un cuerpo impermeable es una línea de flujo.

El límite entre suelo saturado y agua libre en reposo es una línea equipotencial.

El límite entre suelo saturado y aire es una línea que está cruzada a diversos ángulos tanto por las equipotenciales como por las líneas de flujo, pero tiene la particularidad de que las líneas equipotenciales la cortan con intervalos verticales iguales es decir con una equidistancia vertical.

El límite entre suelos saturados con agua en movimiento y el suelo no saturado es una línea de flujo y a la vez es cortada por las equipotenciales a una distancia fija vertical.

Una de las dificultades que se presenta en la mayoría de nuestras carreteras, es la de los taludes o laderas, que generalmente se encuentran desprotegidos o muy poco protegidos, siendo esta la causa principal de los desprendimientos de masas de suelo o de roca que provocan accidentes muchas veces fatales para el público usuario.

En la construcción de diferentes obras civiles se hacen necesarios los movimientos de tierras en grandes volúmenes, al mismo tiempo éstos pueden generar próximos problemas

de inestabilidades; para tal caso se hace necesario, la construcción de terraplenes y otras alternativas con el fin de mejorar las condiciones del suelo inestable.

Para poder lograr un mejor entendimiento del tema planteado, es conveniente tener un criterio adecuado con respecto a la permeabilidad en la estabilidad de taludes en sus diferentes necesidades y problemáticas.

Un talud de tierra no puede considerarse estable indefinidamente, porque tarde o temprano la estabilidad que pueda presentar se pierde debido a los agentes naturales tales como las presiones hidrostáticas, el intemperismo y la erosión. Un aumento temporal de cargas la reducción de las resistencias del suelo o una redistribución desfavorable de esfuerzos son causas que contribuyen de una u otra manera a que el talud busque su posición más estable.

Las inestabilidades geológicas vienen adjuntadas a los deslizamientos de masas rocosas en las que están involucrados diferentes factores que estudian la mecánica de rocas; como la estabilidad de taludes, los cuales tienen que ver como los tipos de movimiento, velocidades, modos de falla, materiales y definiciones geológicas.

1.2 .JUSTIFICACIÓN.

Debido al 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 diaria, ya sean estos **naturales** y **artificiales** (terraplenes).

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

Además porque con el estudio del origen y consecuencias de los deslizamientos debido a la permeabilidad, 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 protección, debido a que la diversidad de **suelo** y de **roca** que 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 de 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.

El consecuente ahorro económico, que es el resultado de un diseño racional, permitirá ejecutar nuevos proyectos y definir algunos criterios sobre la utilización de una metodología y los procedimientos más adecuados para poder controlar los derrumbes o deslizamientos producidos por los problemas en **taludes** de carretera debido a la permeabilidad.

Siendo la inestabilidad de los taludes un problema en nuestro medio, los cuales generan aún mayores hechos de problemática en la red vial de Tarija, ocasionando interrupciones en los flujos de tránsito vehicular tanto en: vehículos livianos, medianos y pesados que tienen circulación por los diferentes accesos del interior del departamento por lo que se debe buscar soluciones temporales o definitivas; además, económicas para hacer frente a estos problemas.

Con las frecuentes amenazas de suelos inestables como deslizamientos, movimientos de masas y zonas saturadas provenientes de diferentes formaciones geológicas, los cuales son los resultados de la disminución °de la resistencia al corte del suelo en la que están relacionados con otros factores, como: geológicos, hidrológicos, topográficos, vegetación, sobrecargas y vibraciones. Debemos buscar técnicas para dar soluciones económicas a éstos continuos problemas que se encuentran en nuestro medio.

En cualquier terreno que no sea horizontal existe una serie de fuerzas que tienden a nivelarlo: como la gravedad, filtración, presión del agua en las diaclasas, etc... Se opone a ello la resistencia del terreno, raíces y otras. Cuando las fuerzas del primer grupo predomina se crea una inestabilidad y como consecuencia de éste se adicionará una fuerza.

El presente estudio generará una enmarcación de las inestabilidades de los taludes, masas de suelos debido a la permeabilidad el cual se hará en el lugar de estudio escogido.

1.3 .HIPÓTESIS.

El análisis de la estabilidad de taludes permite establecer los parámetros para diseños más seguros y elegir las técnicas de mitigación más económicas y factibles.

En consecuencia se plantea la siguiente hipótesis:

- Sera posible que cuando el material que constituye el talud en el tramo Choroma – Túnel Falda la Queñua en estudio se encuentre saturado es más inestable que en estado seco.

1.4 .PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En el estudio del análisis de estabilidad de taludes las características del material que los conforma, ya sean suelos o estratos rocosos según sea el caso, se hace necesario suponer no uno sino varios mecanismos de falla supuestos, debido a la falta de homogeneidad de los materiales que conforman a los taludes además de la variabilidad de los factores ambientales que pueden presentarse a través del tiempo ya sea por cambios naturales o artificiales, y realizar así una comparativa de métodos de cálculo que nos permita determinar el mecanismo de falla más adecuado al problema, así como las características y el factor de seguridad que correspondan.

Actualmente, en los taludes en materiales rocosos, se estudien de manera sistemática las posibles roturas gobernadas por plenos de debilidad del propio macizo rocoso, Las formas de rotura que se estudien con más frecuencia son cuñas, roturas planas, vuelco de estratos, pandeó, etc. siendo menos frecuente el estudio de una rotura de tipo circular, debido a que cuando esto ocurre se debe generalmente a que la roca se encuentre tan alterada y fracturada que se la puede considerar casi un suelo y, por tanto, se pueden aplicar las técnicas habituales de la geotecnia para los suelos.

Estas técnicas de cálculo suelen basarse en métodos de equilibrio límite, como el de Bishop, Ordinary, y Morgenstern-Price.

El criterio de rotura más extendido que se suele aplicar habitualmente es el de Mohr-Coulomb, con modelos elastoplásticos o simplemente elásticos

Este planteamiento cambia ante laderas naturales de mayor escala, o grandes desmontes realizados por el hombre.

La primera aproximación al proyecto de un gran talud ha de realizarse a través de una correcta interpretación de los datos obtenidos y, que nos permita conocer la situación y características de los distintos materiales.

La obtención de la información obtenida sigue unos patrones más o menos estándar para los reconocimientos geológicos, los ensayos de campo y de laboratorio, y para la interpretación y presentación de los resultados obtenidos.

La toma de datos se enfoca hacia los datos estructurales, tanto en campo, el registro detallado de los sondeos con extracción de muestras y la caracterización del macizo rocoso.

1.5. OBJETIVOS.

1.5.1. Objetivo General.

Realizar un análisis funcional en estado saturado y seco debido al clima y otros agentes en la estabilidad de taludes y las inestabilidades que se originan en el tramo Choroma – Túnel Falda la Queñua.

1.5.2. Objetivos específicos.

- Estudiar la acción hidráulica del agua de lluvia su comportamiento el tiempo que se filtra en los taludes y el grado del daño que ocasiona.
- Analizar la importancia de un talud estable.
- Recopilar datos del suelo en el tramo Falda la Queñua para realizar ensayos de laboratorio.
- Sugerir nuevas tecnologías de prevención aplicables en el campo de taludes.
- Identificar las características físicas de los materiales que estén relacionados con la permeabilidad de la zona, dónde se pretende realizar la aplicación de soluciones.
- Inspección de cortes y taludes en el área de aplicación y sus alrededores a fin de recopilar antecedentes respecto a su estado seco como saturado en la estabilidad de taludes.

1.6. ALCANCE DEL ESTUDIO.

El alcance del presente documento se enmarca en el análisis funcional en estado seco y saturado si causa deslizamientos en cinco taludes del tramo “Choroma-Tunel Falda la Queñua” pertenece a la provincia Méndez que se encuentra ubicada a unos 35 Km al Norte del departamento de Tarija y el tramo en estudio es de una longitud aproximada de 4+600 Km, donde además se propondrá alternativas de solución.

Los caminos constituyen uno de los más valiosos factores de desarrollo económico y social de un país, logrando de esta manera una integración de los territorios y el beneficio para toda la sociedad. De ahí que surge la necesidad de poder contar con caminos transitables.

Realizar el reconocimiento del terreno para determinar la extensión y relieve del área, ubicación de depresiones que puedan constituir problemas especiales. Definir los puntos de estudio del talud. Conocer el alcance existente y las posibles interferencias con el sistema a proyectar.

En el presente trabajo se realizará el estudio, y se analizará las técnicas más comunes, referidas a la función que cumple en estado seco y saturado en que influye y que se aplican a la construcción y conservación de las carreteras.

El talud es un elemento indispensable en una carretera; de esta manera se realizará un análisis al tipo de deslizamiento que ocasiona la saturación que sufre debido a las lluvias y a factores adicionales.

Una vez estudiados los funcionamientos en estado seco y saturado en la inestabilidad del talud para el tramo del camino mencionado, estudiaremos las alternativas que ayuden a prevenir estos fenómenos.

El método a ser utilizado deberá realizar un estudio de ensayos del comportamiento hidráulico para por tanto disminuirá los deslizamientos, de tal forma que abarque un control de aguas tanto superficial como subterránea y que técnicamente sea efectiva para su mantenimiento.

Se analizarán los resultados obtenidos para poder sacar las conclusiones y recomendaciones necesarias.

CAPÍTULO 2 TALUDES EN CARRETERAS

2.1. INTRODUCCIÓN.

Se define por talud, a cualquier superficie inclinada en la tierra con respecto a la horizontal, estas inclinaciones se dan en forma natural (laderas) o por la intervención humana (cortes y terraplenes).

Un “talud” o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura.

Se define como “ladera” cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y “talud” cuando se conformó artificialmente (Figura 2.1). Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas.

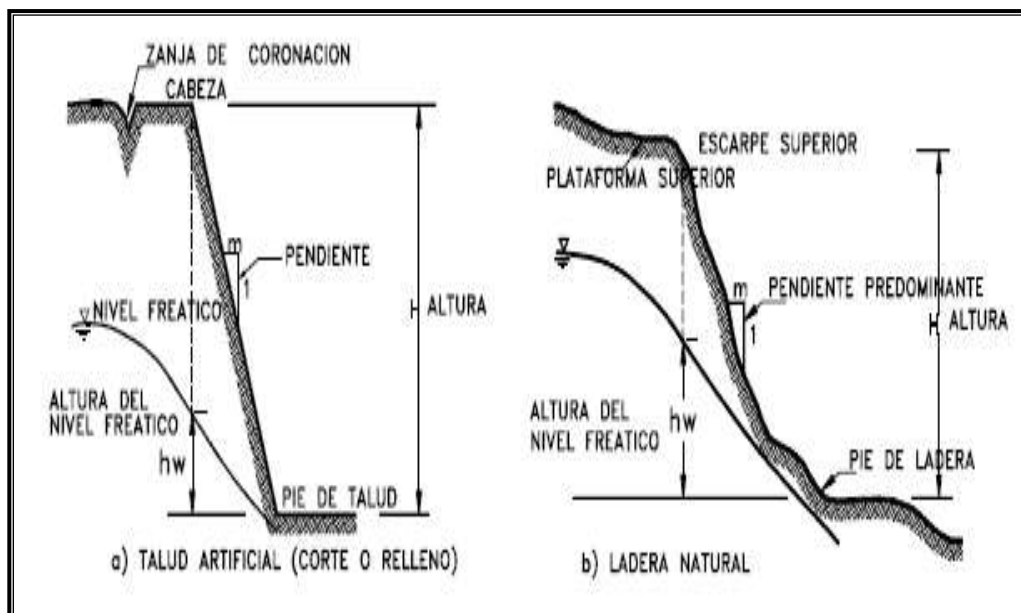


FIGURA 2.1

El moderno crecimiento y desarrollo en carreteras y vías de comunicación exige del Ingeniero Civil un 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 y la protección de las mismas, ya sea por el aspecto económico o por las consecuencias que derivan de la falla del talud.

Para poder emplear métodos o tecnologías para la protección de taludes es necesario conocer algunas de las características mecánicas del suelo porque es aquí donde se presentan las fallas más comunes.

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, que son actores directos que afectan negativamente la estabilidad de un talud.

Debemos también de manera fundamental estudiar las modernas tecnologías existentes en la actualidad para el cuidado, protección y mantenimiento de los taludes de nuestras carreteras, valiéndonos de una comparación entre estos métodos y aplicándolos a un tramo vial de nuestra región para establecer la metodología adecuada para la solución más favorable desde un punto de vista técnico – económico.

2.2. FLUJO DE AGUA EN EL TALUD.

Las fallas estructurales del talud, no sólo dependen de las características de resistencia del suelo, sino también de sus propiedades hidráulicas, de ahí la importancia del flujo de agua a través del talud (Collins y Znidarcic, 2004).

La infiltración del agua producto de la precipitación pluvial básicamente puede ser de dos tipos: inundación de la superficie del suelo y la infiltración controlada (Alonso *et al.*, 1995).

2.2.1. El agua de infiltración.

Cuando llueve, parte de la lluvia del comienzo es retenida en la cobertura vegetal como interceptación y en las depresiones del terreno como almacenamiento superficial. Conforme continúa la lluvia, el suelo se cubre de una delgada capa de agua conocida como detención superficial y el flujo comienza pendiente abajo hacia los cursos, lo que constituye la escorrentía superficial. Inmediatamente debajo de la superficie tiene lugar la escorrentía subsuperficial y las dos escorrentías, la superficial y la subsuperficial, constituyen la escorrentía directa. La infiltración es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra; la percolación es el movimiento del agua dentro del suelo y ambos fenómenos, la infiltración y la percolación, están íntimamente ligados puesto que la primera no puede continuar si no cuando tiene lugar la segunda. El agua que se infiltra en

exceso de la escorrentía subsuperficial puede llegar a formar parte del agua subterránea, la que eventualmente puede llegar a los cursos de agua.

Debido a los fenómenos de infiltración y percolación, el agua de lluvia llega hasta el nivel del agua subterránea, pero no a un ritmo constante. La tasa de infiltración disminuye a medida que progresa la tormenta, debido a que se van llenando los espacios capilares del suelo. La tasa máxima a la cual puede penetrar agua a un suelo, en un sitio en particular y con tasa de abastecimiento suficiente, se llama capacidad de infiltración (f_p). Es máxima al comienzo de una tormenta (f_o). Y se aproxima a una tasa mínima (f_c). A medida que el suelo se satura, figura 2.2. El valor límite está controlado por la permeabilidad del suelo.

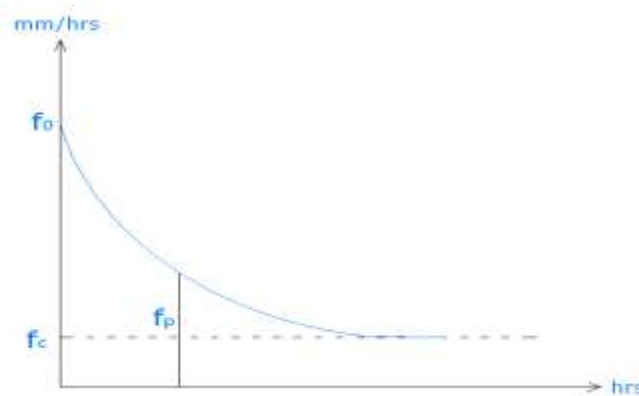


FIGURA 2.2 Curva de Capacidad de Infiltración

La cantidad de agua que penetra a la tierra queda determinada por varios factores:

1. Cantidad y tipo de precipitación.
2. Ritmo de precipitación. Cuando más rápidamente cae la lluvia, menos agua penetra, pues se satura la superficie del terreno.
3. Declive superficial. La filtración es mayor en terrenos más planos, a los que corresponden velocidades de escurrimiento superficial menores.
4. La porosidad de los suelos y rocas.
5. La permeabilidad de los suelos y las rocas, una formación muy porosa no es necesariamente muy permeable. La arcilla, por ejemplo, es muy porosa y muy poco permeable.

6. La estructuración de suelos y rocas, especialmente en lo que se refiere a fracturación, estratigráfica y a la secuencia de los estratos permeables y los impermeables.

7. Cantidad y tipo de vegetación.

8. Humedad atmosférica, si la humedad es baja gran parte del agua caída se evapora antes de penetrar en el terreno.

La infiltración puede producirse principalmente de los siguientes modos:

- Infiltración vertical, en la que predomina la componente vertical del flujo de agua.
- Infiltración horizontal, en la que predomina la componente horizontal del flujo de agua.

La infiltración del agua por las juntas y por las grietas es un fenómeno complejo en el que intervienen su longitud y su anchura, la inclinación del pavimento y la intensidad y duración de la precipitación. Se puede admitir que una junta o grieta de tipo medio es capaz de absorber un caudal del orden de 10 lt/hrs*m. La máxima infiltración se alcanza con unos valores relativamente bajos de la intensidad de la lluvia, a partir de los cuales el caudal infiltrado no aumenta sensiblemente aunque aquella sea más intensa, el exceso no es captado, si no que escurre. La duración de la precipitación sí influye más directamente en la cantidad de agua infiltrada. En principio, se podría considerar la precipitación máxima en un periodo de veinticuatro horas para un periodo de retorno de dos años con una duración de cinco a diez minutos.

2.2.2. El agua del terreno.

La figura 2.3 muestra esquemáticamente las diversas formas en que el agua puede estar en el subsuelo.

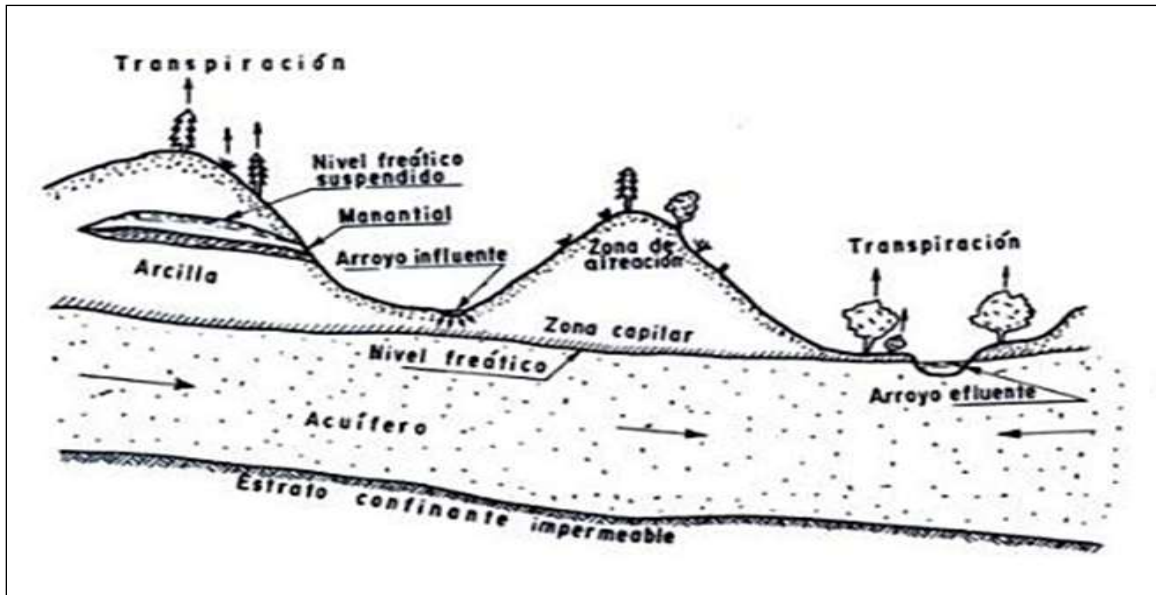


FIGURA 2.3 Formas de agua subterránea

Cerca de la superficie esta zona de aireación, en la que los poros de suelo contienen aire y agua; esta agua se denomina vadosa y constituye el contenido de agua de los suelos, en el sentido de la mecánica de suelos. El espesor de la zona de aireación puede variar desde cero hasta cientos de metros, en zonas particularmente áridas y de relieve abrupto.

Bajo la zona de aireación está la de saturación, en la que los poros del suelo están llenos de agua. La frontera entre las dos zonas es el nivel freático, lugar geométrico de los puntos en que la presión del agua es la atmosférica. Bajo el nivel freático, la zona de saturación puede extenderse centenares de metros, si bien conteniendo cada vez menos agua al aumentar la profundidad, pues los vacíos se van cerrando por el peso de las masas supra yacentes.

Ocasionalmente se forman zonas locales de saturación sobre estratos impermeables, dando lugar a un nivel freático suspendido figura 2.4. También puede suceder que el nivel freático subyazga a un estrato impermeable, formando un estrato confinado donde es probable la presencia de agua artésiana, a causa del peso del suelo supra yacente y de la carga hidrostática que usualmente existe. Si se instala un piezómetro en el estrato acuífero confinado, el agua subirá hasta el nivel piezométrico, concepto equivalente en este caso al nivel freático; cuando este nivel piezométrico queda por arriba de la superficie del terreno se tiene un estrato artésiano propiamente dicho. En la zona de aireación el agua puede ser

gravitacional, capilar o higroscópica. De estas tres, la capilar es la susceptible de mayores variaciones.

La figura 2.4 muestra en perfil geológico típico de los que propician la formación de un nivel freático suspendido, que puede ser causa de presencia de grandes cantidades de agua en laderas en que no se sospecharía tal, de no tener en cuenta esta condición. Es decir que una exploración geológica oportuna que permita anticipar esta situación puede evitar muchos problemas durante la etapa de construcción o de conservación de cualquier vía terrestre que se construya en esos tipos de ladera.

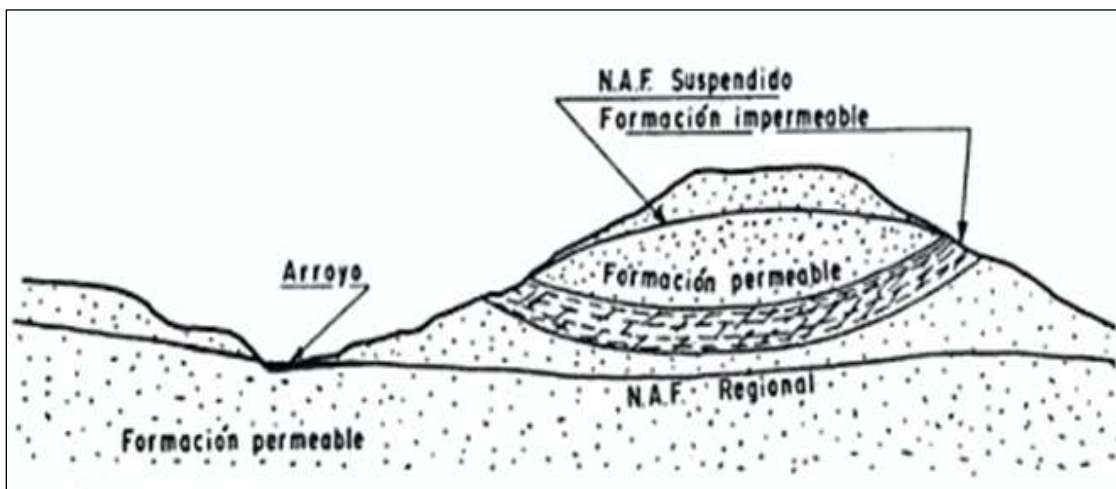


FIGURA 2.4 Un perfil geológico que propicia la formación de un Nivel Freático Suspendido

2.2.3. Factor Agua.

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

2.3. 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.

2.3.1. Factor sobrecargas.

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.

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.

2.3.2. 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.

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

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

TABLA 2.1 Valores del coeficiente de Permeabilidad para suelos saturados.

| 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 |

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

2.4. TIPOS DE PERMEABILIDAD EN LOS SUELOS.

Generalmente el agua fluye a través de los suelos por gravedad. El régimen del flujo se dice que es laminar cuando las líneas de flujo permanecen sin juntarse entre sí, excepción hecha del efecto microscópico de mezcla molecular; cuando las líneas de flujo se entremezclan y dan lugar a turbulencias características se dice que el flujo es turbulento.

Para velocidades bajas, el flujo de agua a través de los suelos es laminar, pero al aumentar la velocidad más allá de un cierto límite, se hace turbulento.

La permeabilidad de los suelos está influida por las siguientes características de los mismos:

- a) La relación de vacíos.
- b) El tamaño de sus partículas.
- c) La composición mineralógica y físico-química del suelo
- d) La estructura

- e) El grado de saturación
- f) La existencia de agujeros, fisuras, etc.

La permeabilidad se puede estimar a partir de ensayos *in situ* o en laboratorio:

- Los ensayos *in situ* se realizan en los sondeos, empleando el ensayo *Lefranc* si se trata de suelos y el *Lugeon* si se trata de rocas. Alternativamente, se pueden realizar ensayos de bombeo.
- En laboratorio se pueden emplear permeámetros:

2.4.1. Permeámetro de carga constante:

Para suelos de alta permeabilidad, como arenas y gravas.

2.4.2. Permeámetro de carga variable:

Para suelos de mediana permeabilidad a baja permeabilidad, como limos y arcillas.

TABLA 2.2 Valores de conductividad hidráulica

| TIPO DE SUELO | RANGO (cm/seg) |
|----------------------|-----------------------|
| Grava | 1 - 100 |
| Arena | 0,01 - 1 |
| Arena fina | 0,0001 - 0,01 |
| Limo | 0,000001 - 0,0001 |
| Arcilla | 0,00001 - 0,000001 |

Fuente: Libro drenaje vial superficial y subterráneo (Colombia)

En la siguiente tabla (Tabla 2.3), se dan valores aproximados de la permeabilidad de distintos materiales:

TABLA 2.3 Coeficientes de permeabilidad (Casagrande y Fadum)

| k en cm/seg | 10^2 | 10^1 | 1.0 | 10^{-1} | 10^{-2} | 10^{-3} | 10^{-4} | 10^{-5} | 10^{-6} | 10^{-7} | 10^{-8} | 10^{-9} |
|--------------------------------|--|--------|---|-----------|--|---|-------------|---|--|-----------|-----------|-----------|
| Drenaje | Muy Bueno | | Bueno | | | | Malo | | Prácticamente Impermeable | | | |
| Tipo de Suelo | Grava limpia | | Arenas limpias | | | Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezcla de arena limosa y arcilla, depósitos glaciares, arcillas estratificadas | | Suelos impermeables como arcillas homogéneas | | | | |
| | | | Suelos impermeables por efecto de la vegetación y la intemperie | | | | | | | | | |
| Determinación directa de K | Realizar test de permeabilidad directamente en el emplazamiento a estudiar. Para obtener resultados fidedignos se requiere mucha experiencia | | | | | | | | | | | |
| | Obtener K mediante el permeámetro de carga constante, se requiere poca experiencia | | | | | | | | | | | |
| Determinación indirecta de K | | | Usar permeámetro de carga variable. Requiere poca experiencia | | Con el permeámetro de carga decreciente. Se requiere mucha experiencia | | | Con el permeámetro de carga decreciente. Se requiere bastante experiencia, por lo que es medianamente fiable. | | | | |
| | | | Obtener k a partir de la curva granulométrica. Solo sirve para arenas y gravas poco cohesivas y limpias | | | | | | Obtener k a partir de ensayos de consolidación. Se requiere bastante experiencia | | | |

Fuente: Libro drenaje vial superficial y subterráneo (Colombia)

2.4.5 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.

2.4.6. La Hidrogeología

La elaboración del modelo hidrogeológico conceptual es muy importante para analizar la estabilidad de un talud. Este modelo debe tener en cuenta las zonas de infiltración en la parte superior de los taludes, incluyendo la infiltración a muchos kilómetros de distancia (siempre y cuando esta agua pueda afectar los niveles freáticos y corrientes de agua).

Otros factores para considerar son la conductividad hidráulica (mejor conocida como permeabilidad) y la porosidad de los materiales del talud. La conductividad facilita la llegada de corrientes de agua y la porosidad afecta la capacidad de almacenamiento del agua en el talud. Se deben identificar además, las fuentes, la localización y las características de los niveles freáticos, las corrientes subterráneas y sus fluctuaciones (figura 3.2).

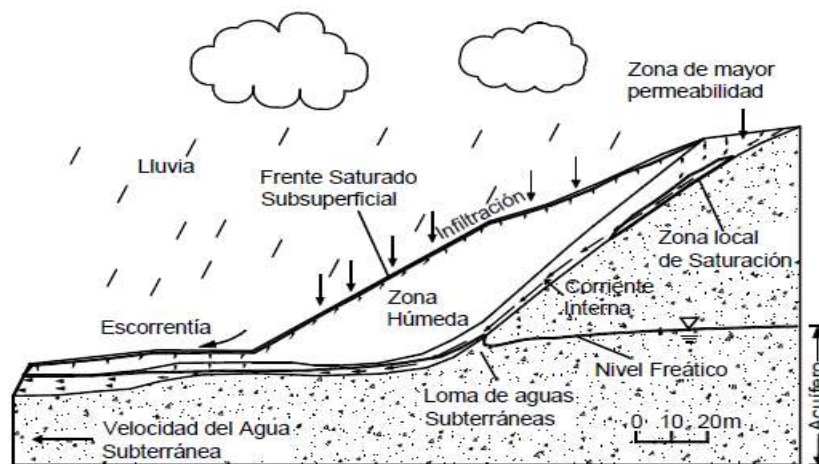


Figura 2.5 Las corrientes de agua subterránea y la infiltración, son parámetros hidrogeológicos muy importantes en el proceso de activación de deslizamientos

2.5. FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO

Los procesos que ocurren en un talud son generalmente complejos y dependen de gran cantidad de factores, los cuales interactúan entre ellos para definir un comportamiento. A continuación, se presenta una descripción de algunos de los factores fundamentales que afectan la estabilidad de los taludes

3.5.1. La Litología o Formación Geológica

Cada litología o formación geológica posee un determinado patrón de comportamiento. Por ejemplo: Un granito y una caliza bajo condiciones similares, desarrollan características diferentes de perfil geotécnico y presentan un comportamiento diferente de los taludes como resultado de las diversas características de los materiales (permeabilidad, potencial de meteorización, erosividad, etc.).

Si el material que conforma el talud es homogéneo, el modelo conceptual es relativamente sencillo y fácil de interpretar; sin embargo, cuando el talud está formado por varios tipos de roca o suelo, el comportamiento geotécnico del conjunto es diferente al de cada material por separado.

En los taludes donde aparecen varios materiales diferentes se debe elaborar un modelo que incluya todos los materiales, cada cual con su comportamiento característico, pero al mismo tiempo, se debe analizar el comportamiento conjunto de los diversos materiales. Por ejemplo, un material permeable sobre otro menos permeable, puede generar niveles de agua colgados, los cuales pueden afectar la estabilidad del conjunto de materiales.

Un suelo duro puede fallar al cortante o deslizarse al deformarse un material subyacente menos duro. Generalmente, en una formación geológica se encuentran varios tipos de material y varios patrones de estructura, los cuales conjuntamente, determinan las características de los deslizamientos.

Generalmente, cada formación geológica tiene unos patrones típicos que se repiten en los diferentes taludes.

2.5.2. La Estructura Geológica

Es común que los deslizamientos ocurran a lo largo de las superficies de debilidad existentes en el suelo o la roca. A estas superficies de debilidad se les conoce como la “estructura geológica” la cual está conformada por las discontinuidades, fracturas, planos de estratificación o superficies de debilidad del macizo o talud (Figura 2.6). Los elementos de estructura geológica que más comúnmente afectan los deslizamientos son:

2.5.3. Las fracturas.

Son planos de separación o rotura, los cuales se encuentran presentes en la mayoría de formaciones rocosas. La fracturación está relacionada con los procesos tectónicos y otros factores propios de la evolución de la corteza terrestre. Estas fracturas son muy importantes cuando se encuentran abiertas o rellenas con materiales de baja resistencia.

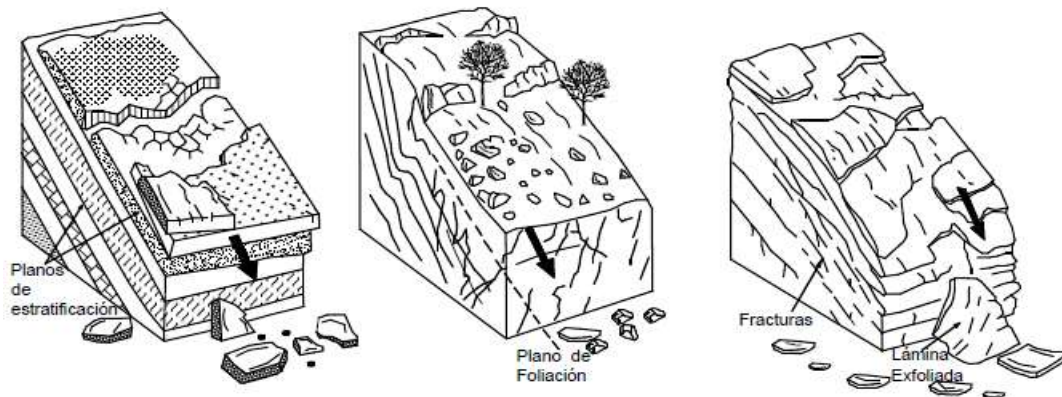


Figura 2.6 Las discontinuidades de la estructura geológica determinan, en muchos casos, la ocurrencia de los deslizamientos de tierra (Diagramas elaborados por Schuster).

2.5.4. El Factor Tiempo

La mayoría de procesos que afectan la estabilidad de un talud no ocurren en forma instantánea, sino que por el contrario toman generalmente períodos largos de tiempo. En un talud que aparentemente es estable pueden estar ocurriendo fenómenos que conduzcan a una falla.

El clima y las condiciones ambientales cambian con el tiempo. Un talud que no presenta evidencias de movimiento en la temporada seca de las zonas tropicales puede moverse en temporada de lluvias.

Un fenómeno de reptación puede con el tiempo evolucionar a un deslizamiento de traslación.

2.6. INESTABILIZACIÓN

Terzaghi (1950), hizo una diferenciación entre los factores externos e internos que afectan la ocurrencia de los deslizamientos. Tanto las causas internas como las externas, afectan el estado de equilibrio de un talud de dos maneras diferentes o por la combinación de estas dos formas:

- Disminución de la resistencia al cortante.
- Aumento de los esfuerzos de cortante.

Las causas internas. Son mecanismos que producen una reducción en la resistencia al cortante a un punto tal que inducen una falla (Bell 1 9 8 3) (Ejemplos: Meteorización, presión de poros).

Las causas externas. Son los mecanismos por fuera de la masa afectada, los cuales son responsables de un aumento de los esfuerzos por encima de la resistencia al cortante (sobrecargas, cortes, sismos, vibraciones, etc.).

Para el diagnóstico de las condiciones de estabilidad de un talud o ladera, es imprescindible conocer los agentes que causan la inestabilidad.

Es importante poder anticipar los cambios que ocurren en el talud con el tiempo y las varias condiciones de carga, de humedad y drenaje a las cuales el talud va a estar expuesto durante toda su vida.

Los procesos de deformación y desintegración están relacionados con diversos factores internos y externos:

- La tectónica y neotectónica producen esfuerzos e inducen deformaciones, las cuales son muy difíciles de evaluar o medir. La desintegración por fragilidad.
- La erosión genera cambios topográficos que inducen esfuerzos en el talud.

- La sedimentación

2.6.1. Presiones de Poros

La presión de poros es la presión interna del agua de saturación. El agua subterránea (o agua freática) ejerce presiones de poros sobre las partículas de suelo, disminuye la presión efectiva y la resistencia al cortante. La presión de poros dentro del suelo, depende de la localización de los niveles freáticos, de las presiones internas de los acuíferos y de las características geológicas del sitio. La presión de poros es mayor hacia adentro del talud y menor cerca de la superficie. Si existen mantos permeables, éstos facilitan el drenaje y se puede disminuir la presión de poros.

La presión de poros cambia de acuerdo con las variaciones del régimen de aguas subterráneas.

Los incrementos de presión pueden ocurrir rápidamente en el momento de una lluvia, (dependiendo de la intensidad de la lluvia) de la rata de infiltración del área tributaria, etc.

Para el análisis de presiones de poros sobre una superficie de falla, se deben tener en cuenta sus condiciones de drenaje. Cuando existe drenaje, la presión de poros disminuye hacia la superficie del talud pero cuando el drenaje es deficiente, se puede presentar un aumento importante de la presión de poros en el pie del talud. Debe tenerse en cuenta el efecto que las discontinuidades tienen en los niveles piezométricos determinados por las líneas equipotenciales. Las discontinuidades generan diferencias de conductividad hidráulica (permeabilidad), las cuales controlan el sistema de presiones dentro del talud.

La presencia de fracturas permite además, la ocurrencia de presiones muy altas con muy poca infiltración de agua.

2.6.2. Capacidad de Infiltración

Las capacidades de infiltración varían desde dos milímetros por hora, en suelos muy impermeables a dos mil quinientos milímetros por hora, en suelos muy permeables dependiendo de la cobertura vegetal, pendiente, textura del suelo, humedad natural y práctica de agricultura. Los suelos más permeables como las gravas y arenas, poseen una capacidad mayor de infiltración. Las gravas y arenas son mucho más permeables que las arcillas.

La infiltración también está influenciada por la pendiente del terreno y por la textura del suelo; sin embargo, hay otros factores que determinan la infiltración como son: las prácticas agrícolas que crean zonas de acumulación de agua y aumentan la porosidad del suelo subsuperficial. Una pasada de tractor, en un área semi-plana, puede aumentar la rata de infiltración en un ochenta por ciento.

Igual situación ocurre con la siembra siguiendo las líneas de nivel.

2.6.3. Condiciones de Frontera Para la Infiltración

La lluvia sobre la superficie de la tierra puede conducir a dos condiciones diferentes de frontera:

Superficie del talud inundada. La intensidad de la lluvia, en este caso, es mayor que la cantidad de agua que puede infiltrarse dentro de la tierra.

Por lo tanto, solamente parte de la lluvia se infiltra y el resto se convierte en escorrentía. En este caso, la condición de frontera es que la succión en la superficie del terreno es igual a 0, equivalente a la saturación del 100%.

Infiltración controlada. La intensidad de la lluvia es menor que el flujo máximo de agua que se puede infiltrar en el talud. En este caso, la infiltración es controlada por la intensidad de la lluvia:

$Q_{\text{infiltración}} = \text{Intensidad de la lluvia.}$

Factores que Afectan la Infiltración

La cantidad de agua que penetra o se infiltra en la tierra queda determinada por varios factores:

2.6.4. Conductividad Hidráulica o “Coeficiente de Permeabilidad”

La facilidad con que el suelo fluye a través de un material, se denomina “conductividad hidráulica” (permeabilidad) y el parámetro que permite cuantificar este fenómeno se llama “coeficiente de permeabilidad” y se encuentra en la literatura con la simbología de la letra K. La conductividad hidráulica depende del tamaño de los vacíos o poros, es alta en las gravas y baja en las arcillas (Tablas 2.4 y 2.5).

Tabla 2.4 Coeficientes de permeabilidad y capacidad de infiltración.

| Material | Tamaño de poros | Conductividad hidráulica (permeabilidad) (cm/seg) |
|----------|----------------------|---|
| Arcilla | $<10^{-4} - 10^{-3}$ | $<10^{-6}$ |
| Limo | $10^{-3} - 10^{-2}$ | $10^{-6} - 10^{-4}$ |
| Arenas | $10^{-2} - 10^{-1}$ | $10^{-4} - 10$ |
| Gravas | $10^{-1} +$ | $10 - 10^2$ |

Tabla 2.5 Tamaño de poros y conductividad hidráulica (Lee, 1996).

| Suelo | Conductividad hidráulica (permeabilidad) K (cm/seg) | Capacidad de infiltración (mm/hora) |
|----------------|---|-------------------------------------|
| Arcillas | $<10 \times 10^{-9}$ | 0.25 a 2.5 |
| Limos | 1×10^{-9} a 1×10^{-7} | 2.5 a 8 |
| Arenas finas | 1×10^{-7} a 1×10^{-5} | 8 a 13 |
| Arenas gruesas | 1×10^{-5} a 1×10^{-2} | 13 a 20 |
| Gravas | $> 1 \times 10^{-2}$ | 20 a 30 |

2.6.5. El Flujo Saturado

La infiltración unida a los fenómenos de transporte interno de agua produce un régimen de aguas subterráneas. La conducción interna del agua puede darse a través de una formación permeable o a través de juntas o fallas. El flujo de agua subterránea generalmente es muy lento y laminar; sin embargo, el flujo turbulento puede ocurrir dentro de conductos internos de gran tamaño o porosidades muy altas como es el caso de las cavernas en calizas o en gravas muy porosas.

En el flujo laminar, el movimiento de agua junto a las partículas o paredes de los intersticios posiblemente es quieto por la atracción molecular.

El agua, a cierta distancia de las paredes, tiene un patrón trenzado de acuerdo con las características de los vacíos (Figura 2.7.).

Cuando la línea del nivel de agua está muy cerca de la superficie, ésta puede interceptarse con las corrientes superficiales, formándose una zona de flujo combinado. Esta situación es común en las depresiones en áreas de lutitas meteorizadas en la cordillera Oriental de Colombia, formándose una “semi-cuenca saturada” dentro de la cuenca general, la cual va creciendo durante el tiempo que dure la lluvia.

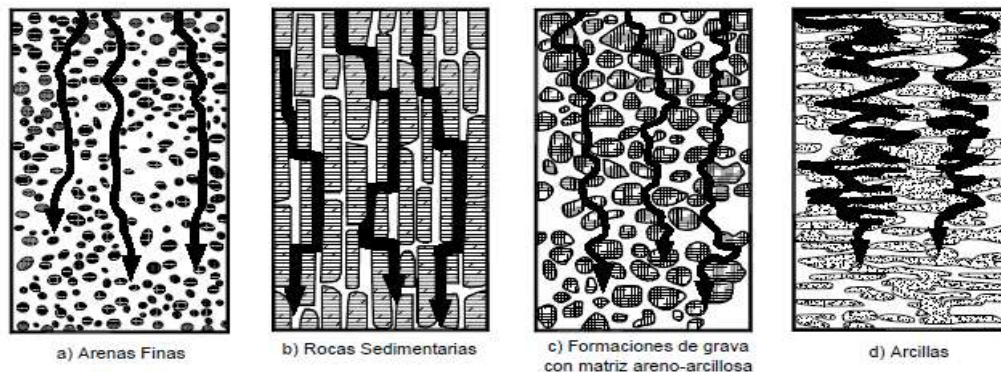


Figura 2.7 Flujo de agua en formaciones geológicas diferentes, (a) Arenas finas, (b) rocas sedimentarias, (c) Formaciones de gravas con matriz areno-arcillosa, (d) Arcillas (Buckman, 1990).

2.6.6. Flujo de Agua en Rocas

Se pueden analizar diferentes tipos de flujo de agua en rocas: flujo intergranular y flujo a través de las fisuras. El flujo intergranular de agua ocurre por los poros entre los granos o las partículas que componen el suelo o la roca.

Este tipo de flujo se asemeja el concepto de Darcy del movimiento de agua a través de un medio homogéneo e isotrópico; sin embargo, en la práctica, la mayoría de los acuíferos exhiben un flujo combinado intergranular y a través de rutas preferenciales, debidas a fisuras o conductos dentro del manto del suelo.

El flujo de agua tiende a ser más rápido a lo largo de fisuras, conductos o juntas, especialmente en los suelos residuales. En las rocas, el flujo sigue comúnmente rutas preferenciales a través de las fisuras o sistemas de juntas. Dentro de una formación geológica, las fallas importantes tienen generalmente, un efecto muy grande en las características del sistema de aguas subterráneas, las cuales son controladas por las fracturas de las fallas y transportadas a grandes distancias en forma relativamente rápida. Es

común que el agua subterránea se concentre en las fallas geológicas y de esta forma, los sitios de falla geológica son muy susceptibles a deslizamientos de tierra (Figura 2.8).

2.6.7. Flujo de Agua en Formaciones Aluviales

En el suelo aluvial ocurre flujo intergranular, el cual sigue aproximadamente las leyes de Darcy, de flujo a través de medios homogéneos. Sin embargo, la presencia de varios mantos con permeabilidades diferentes, dificulta en ocasiones, la modelación.

Igualmente, la presencia de grandes bloques de roca, altera las condiciones del flujo.

2.6.8. Flujo de Agua en Rocas Sedimentarias

En las lutitas, las corrientes están controladas generalmente, por pequeñas vetas de materiales permeables o por la capa de roca alterada del perfil de meteorización; en las intercalaciones de areniscas y lutitas, por los planos de estratificación; en las calizas, por los ductos de disolución; en los suelos volcánicos, por las discontinuidades que se formaron al enfriarse las lavas y en los suelos de origen igneometamórfico, por la interface entre la roca sana y la roca alterada del perfil de meteorización.

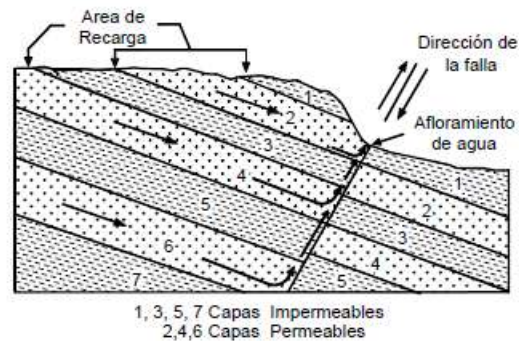


Figura 2.8 El agua subterránea se concentra en los sitios de falla geológica Características del Subdrenaje de un Talud

Las características de drenaje se refieren a la facilidad con que un talud puede drenarse en el caso de que llegue a saturarse. Las características de drenaje, se acostumbra calificarlas con los adjetivos: nulo, malo, medio y bueno. Estas características dependen tanto de las propiedades hidráulicas de los materiales constituyentes, como de la topografía y la naturaleza de las formaciones geológicas circundantes.

En los suelos residuales de rocas ígneas y metamórficas, la conductividad hidráulica (permeabilidad) tiende a ser grande y el subdrenaje bueno, pudiendo ocurrir que el nivel freático generado por una lluvia, desaparezca pocas horas después, lo cual dificultaría el estudio de estabilidad de un talud.

2.6.9. Activación de deslizamientos en macizos de roca

En los macizos de roca fracturada se pueden activar deslizamientos por el flujo de agua a lo largo de las fracturas como se muestra en la figura 2.9. La saturación de la fractura genera una pérdida de resistencia por la eliminación de la succión en el material de relleno o en la junta propiamente dicha.

Al saturarse las fracturas, se produce un aumento fuerte de la presión de poros trayendo como resultado una disminución en el factor de seguridad. Conjuntamente puede ocurrir lavado de los cementantes y erosión, debida al flujo de agua y a los procesos de expansión del relleno arcilloso de la junta, al aumentar la humedad.

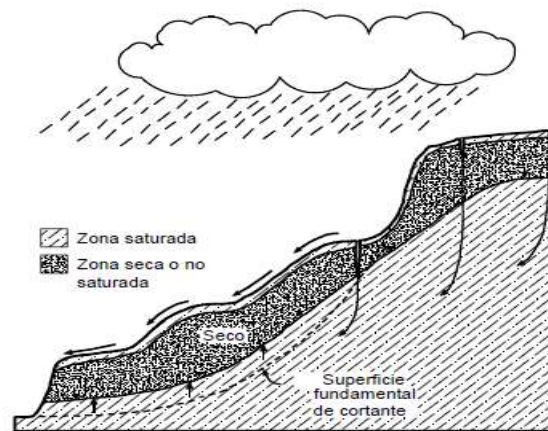


Figura 2.9 Diagrama conceptual del proceso de saturación en el deslizamiento de La Conchita en 2005 (Jibson, 2006).

2.6.10. Dentro de los factores litológicos y morfológicos se deben tener en cuenta:

- La conductividad hidráulica (permeabilidad).

El tiempo que se requiere para que una lluvia produzca un deslizamiento es mayor en los suelos arcillosos que en los suelos arenosos.

(Alonso, y otros, 1995) debido a las diferencias de infiltración. Este tiempo es inversamente proporcional a la permeabilidad para valores constantes de los demás parámetros. De acuerdo con Rahardjo y otros (2007), cuando el coeficiente de permeabilidad saturado es menor de $k_s=10^{-6}$ m/s afecta muy poco la intensidad de la lluvia y por el contrario, suelos con el coeficiente de permeabilidad mayor de 10^{-4} o 10^{-5} m/s, se afectan de forma significativa por la intensidad de la precipitación; sin embargo, al cesar la lluvia, los suelos más permeables se recuperan más rápidamente que los suelos arcillosos. Los suelos con permeabilidad inferior a $k_s < 10^{-6}$ m/s son seguros para lluvias individuales de gran intensidad, pero de corta duración. Las lluvias de corta duración son las de menos de un día o 24 horas (Brand 1992); no obstante, las lluvias son parte de un período de varios días y en suelos arcillosos, la lluvia acumulada de varias semanas, es determinante para la activación de deslizamientos.

- **El espesor del perfil permeable.** A mayor profundidad del perfil, la respuesta es más rápida. Por ejemplo, en perfiles de rocas ígneas ácidas y en perfiles poco profundos, el efecto de la lluvia acumulada es menor que en perfiles más profundos.

La mayoría de los deslizamientos en los suelos tropicales con perfiles profundos de meteorización, están relacionados con períodos largos de lluvias y no con las lluvias individuales de gran intensidad y corta duración (Rahardjo y otros, (2007).

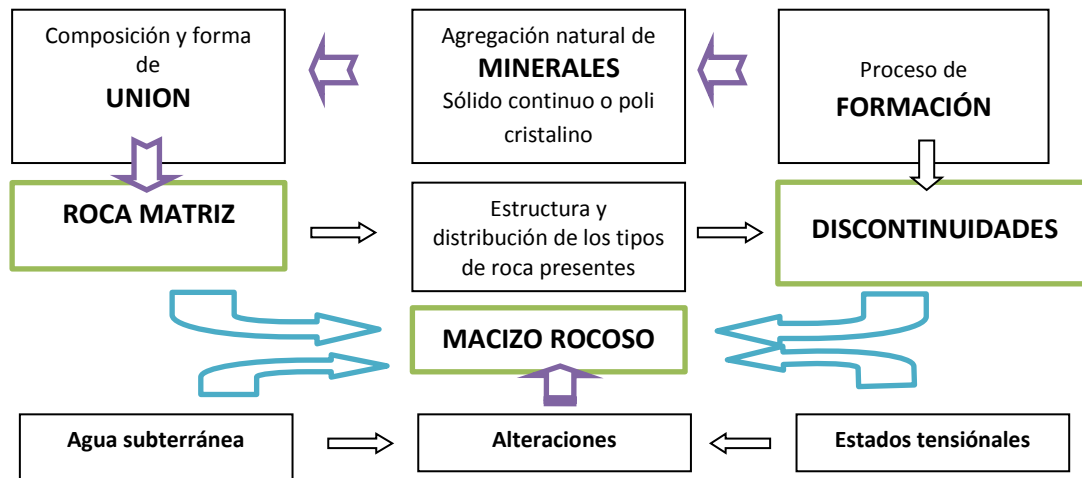
- **La pendiente y altura de los taludes.** A menor pendiente superficial, la infiltración es mayor; sin embargo, a mayores pendientes aunque la infiltración es menor, la profundidad del perfil permeable es generalmente mayor y se presenta un efecto combinado de los dos factores. Los taludes más altos fallan con más frecuencia que los de pendiente moderada en el momento de lluvias de gran intensidad, factor que se atribuye a la disminución de las tensiones negativas, aunque en los taludes de menor altura y pendiente, el ascenso del nivel freático es mayor (Rahardjo y otros, 2007). En términos generales, la pendiente y la altura de los taludes es secundaria en los deslizamientos activados por las lluvias.

- **La localización del nivel freático inicial.** Entre menos profundo se encuentre el nivel freático inicial, la posibilidad de saturación total del perfil permeable es mayor y el efecto de un evento lluvioso puede ser más determinante para la activación de un deslizamiento. Esta no es la constante en los taludes de gran altura, en eventos lluviosos de gran

intensidad, donde la disminución de tensiones capilares comúnmente es más influyente que el ascenso del nivel freático. La peor combinación es un talud de alta pendiente y gran altura, con un nivel freático poco profundo. Sin embargo, las condiciones reales de falla dependen más de las propiedades del suelo y de la lluvia que de la geometría del talud.

2.7. PROPIEDADES DE LA MATRIZ ROCOSA.

ESQUEMA DEL “MACIZO ROCOSO”



Las rocas pueden ser duras o blandas y las fallas de los macizos se pueden presentar por zonas de debilidad o de discontinuidad estructural. Las rocas blandas fallan a través del cuerpo de la masa rocosa y también a través de sus defectos estructurales.

2.7.1. Calidad del macizo.

Se considera que un suelo o roca es blando o duro, según su resistencia a la compresión esté en los siguientes rangos:

Suelo blando menos de 4 Kg/cm^2

Suelo duro entre $4 - 10 \text{ Kg/cm}^2$

Roca blanda de 10 a 375 Kg/cm^2

Roca intermedia de 375 a 700 Kg/cm^2

Roca dura más de 700 Kg/cm^2

El concreto corriente es de sólo 210 Kg/cm^2 , Las rocas blandas son aquellas que pueden fallar a través de material intacto a los niveles de esfuerzos existentes que se pueden dar en el área de influencia de una excavación, sin que tenga sentido un valor numérico para definir la resistencia de dichas rocas, máximo aún si se tiene en cuenta que los macizos de roca más dura pueden fallar y fallan en las excavaciones más profundas.

2.7.2. Macizos en roca blanda.

Los macizos de roca blanda, están constituidos por materiales generalmente sedimentarios de grano fino, como: arcillolitas, lodolitas, limolitas, tobas y margas, y también areniscas o conglomerados, pobremente cementadas, o por rocas metamórficas con orientación esquistosa desfavorable (filitas, esquistos), cuyo comportamiento geomecánico está controlado por la roca intacta y también por fracturas, diaclasas y fallas.

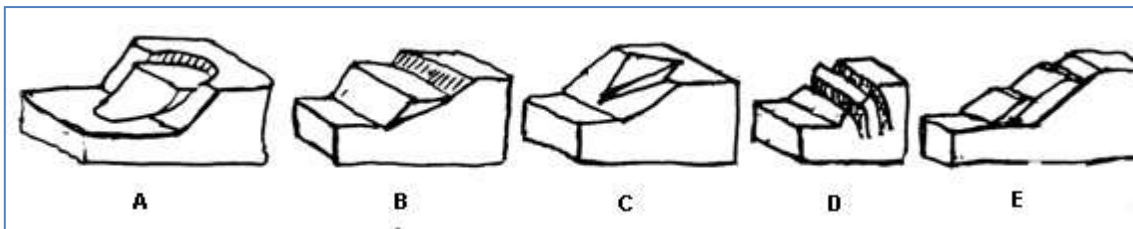


Figura 2.10: Fallas de un talud de roca: A. Falla circular, B. Falla planar, C. Falla en cuña, D. Falla por volcamiento, E. Fallas por flexión y Falla por pateo. Según Hoek and Bray, Rock Slope Engineering.

Los macizos de roca meteorizada también pueden ser considerados como masa de roca blanda cuyas discontinuidades son rellenos de materiales tipo suelo; dichos macizos a menudo muestran una transición hacia suelos residuales donde los saprolitos tienen estructuras relictas, heredadas de la roca sana, las que sirven de zona de falla.

CAPÍTULO 3 APLICACIÓN PRÁCTICA.

3.1. SELECCIÓN DE LOS TALUDES PARA ESTUDIO:

3.1.1. Ubicación.

El tramo en estudio (Choroma-Falda de la Queñua) pertenece a la provincia Méndez que se encuentra ubicada a unos 35 Km al Norte del departamento de Tarija y el tramo en estudio es de una longitud aproximada de 4+600 Km.

IMAGEN N°1

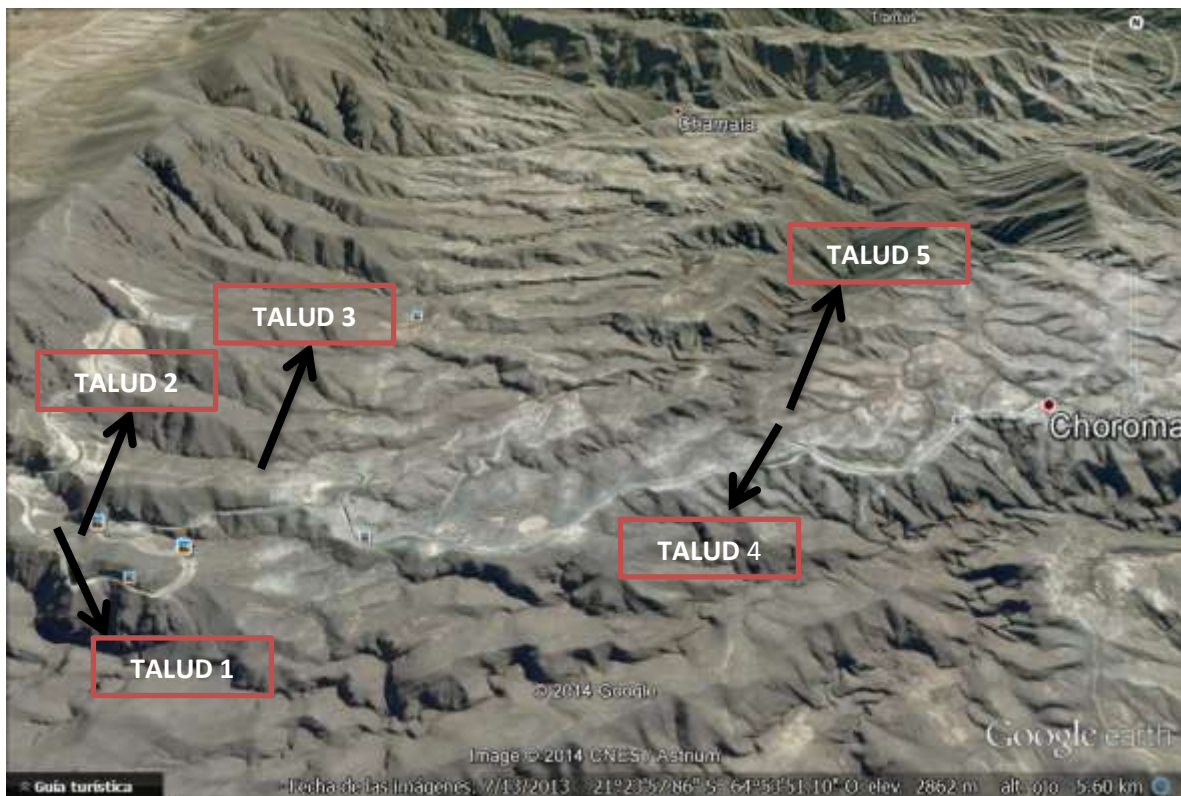
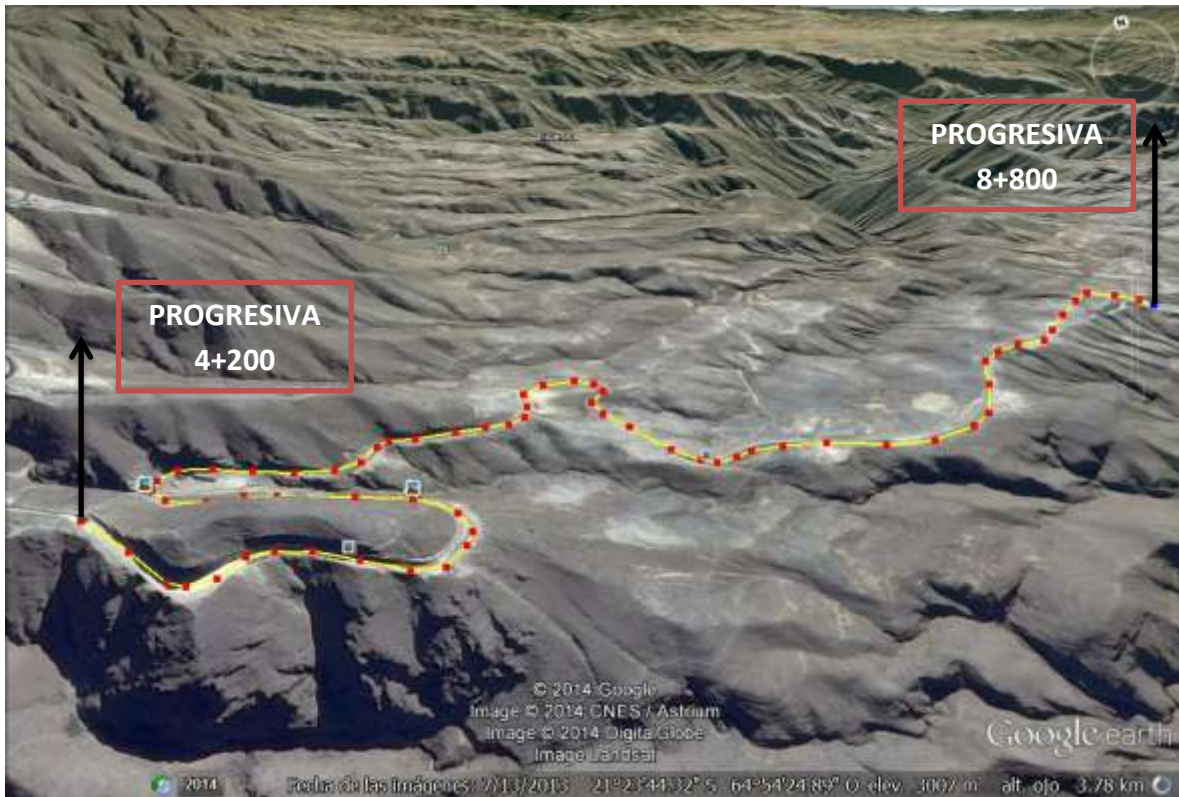


IMAGEN N°2



3.1.2. Características del Área de Estudio.

La Ubicación Geográfica de la zona del proyecto nos muestra una topografía accidentada, con vegetación muy escasa, donde se evidencia que consta de rocas del mismo tipo de material si no que el mismo es de distinto coló por el tiempo que tiene de consolidación del material el cual con el paso del tiempo se va desmoronando poco a poco con ayuda de los agentes climáticos que so lluvias, lloviznas, neblina, el sol que le da a los taludes y las temperaturas cambiantes a cualquier momento.

FOTOGRAFÍA N° 1 y 2 Talud "1"



FOTOGRAFÍA N° 3 Talud 2



FOTOGRAFÍA N° 4 y 5 Talud 2



FOTOGRAFÍA N° 6 y 7 Talud 3



FOTOGRAFÍA N° 8 y 9 Talud 4



FOTOGRAFÍA N° 10 y 11 Talud 5



3.2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.

La metodología que se siguió en la elaboración del presente estudio, se dividió en dos partes muy importantes:

- **Trabajo de campo**
- **Trabajo de gabinete**

3.2.1. Trabajo de campo.

El trabajo de campo consistió principalmente en la inspección visual de las características de la zona de estudio para la identificación de los diferentes taludes a lo largo del recorrido y posteriormente la selección de cinco de estos, con riesgo de falla o deslizamiento. Además de recoger la información básica sobre el terreno, este estudio establecerá toda la información sobre los suelos para su posterior análisis en laboratorio.

3.2.1.1. Selección de Muestras.

La toma de muestras para el análisis respectivo en laboratorio, parte primeramente de la identificación y selección de los diferentes taludes a ser estudiados. 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, para de esta manera obtener resultados reales. Esta toma de muestras se la realizará excavando una calicata a una profundidad de por lo menos 0,10m para retirar el material que se cae por efectos del clima y se cabo huecos de 0,20m de profundidad y una área de 0,20m por 0,20m, de dónde se extraerá el suelo para su posterior análisis en laboratorio

Cabe hacer notar que se determinaron aspectos importantes del talud como su altura, su ancho, y del material por el cual está compuesto.

TALUD “1”.-

Se encuentra ubicado a pocos kilómetros del túnel viniendo hacia Tarija, al lado derecho de la carretera más o menos entre las progresivas 4+200 y 4+300, este talud presenta una **altura** de 15 m, un **longitud** de 100 m y la vegetación en el mismo es escasa con una pequeña variedad existente.

Mediante una inspección general y visual se puede decir que el material de esta talud está conformado por presencia de grandes rocas fracturadas que en su mayoría son lutitas, con limo debido a esto, otros factores como pequeños desmoronamientos de suelo se trata de un talud inestable con un alto riesgo de deslizamiento.

FOTOGRAFÍA N° 12 Talud “1”, ubicado en la progresiva 4+200 y 4+300.



Topografía del talud para crear en CAD el perfil del Talud procedimos a introducir las coordenadas (X;Y) de los puntos según la topografía que se realizó:

Tabla 3.1 (Topografía Talud 1)

| X | Y |
|----------|----------|
| 0 | 0 |
| 0 | 22,5 |
| 7,5 | 22,5 |
| 9,5 | 7,5 |
| 17 | 7,5 |
| 17 | 0 |

Nota.- * *Puntos externos del Talud (Arbitrario)*

FOTOGRAFÍA N° 13 Recoleccion de muestra del Talud ``1``



TALUD “2”:-

Este talud se encuentra al frente del talud A y en el lado izquierdo del tramo que viene a Tarija entre las progresivas 4+200 y 4+800, cuenta con una **altura** de 25 m un **ancho** que abarca los 600m aproximadamente y cuenta con vegetación en la cabeza la cual son pastizales este talud consta de tres banquinas antes de llegar a la cabeza.

Es un talud conformado por lutita fracturada de grandes tamaño, pero en la cabeza esta con limolítica fina, es un material completamente inestable con el tiempo ya que las lluvias constantes el viento y el sol después lo calcina la roca y con el tiempo se van fracturando y se empiezan a desmoronar con la presencia de estos agentes climáticos.

Topografía del talud para crear en CAD el perfil del Talud procedimos a introducir las coordenadas (X;Y) de los puntos según la topografía que se realizó:

Tabla 3.2 (Topografía Talud 2)

| X | Y |
|----------|----------|
| 0 | 0 |
| 0 | 37,5 |
| 7,5 | 37,5 |
| 9,5 | 30 |
| 11,5 | 30 |
| 13,5 | 22,5 |
| 15,5 | 22,5 |
| 17,5 | 15 |
| 19,5 | 15 |
| 21,5 | 7,5 |
| 29 | 7,5 |
| 29 | 0 |

Nota.- * *Puntos externos del Talud (Arbitrario)*

FOTOGRAFÍA N° 14 Talud "2", ubicado en la progresiva 4+200 y 4+800 en el tramo



FOTOGRAFÍA N° 15 Recoleccion de muestra del Talud ``2``



TALUD "3".-

Se encuentra también al lado izquierdo de la carretera a pocos metros de la progresiva 5+580 y 5+890, cuenta con una **altura** de 20 m y una **longitud** de 310 m.

El talud está conformado por material rocas lutita con suelo limolítica, se puede observar en la fotografía de tamaño considerable este talud también tiene dos banquinas como se muestra en las fotografías las banquinas son altas más de diez metros cada una y para acceder al mismo se tuvo que dar vuelta por la parte más abajo para poder subir a la cabeza que tiene vegetación escasa son pastos que son resistentes al clima.

Es también un talud inestable con zona de deslizamiento debido a pequeñas masas de rocas en estado suelto que se están desprendiendo desde la parte más alta de este talud.

FOROGRAFÍA N° 16 ubicación en la progrciva 5+580 en el tramo



Topografía del talud para crear en CAD el perfil del Talud procedimos a introducir las coordenadas (X;Y) de los puntos según la topografía que se realizó:

Tabla 3.3 (Topografía Talud 3)

| X | Y |
|------|------|
| 0 | 0 |
| 0 | 32,5 |
| 7,5 | 32,5 |
| 9,5 | 24,2 |
| 11,5 | 24,2 |
| 13,5 | 15,9 |
| 15,5 | 15,9 |
| 17,5 | 7,5 |
| 25 | 7,5 |
| 25 | 0 |

Nota.- * Puntos externos del Talud (Arbitrario)

FOTOGRAFÍA N° 17 Recoleccion de muestra del Talud ``3``



TALUD “4”.-

Se encuentra también al lado derecho de la carretera a pocos metros de la progresiva 8+530 y 8+800, cuenta con una **altura** de 15 m y una **longitud** de 500 m.

El talud está conformado por materiales rocas lutitas con suelo limolítica , se puede observar en la fotografía de tamaño considerable.

Es también un talud inestable con zona de deslizamiento debido a pequeñas masas de rocas en estado suelto que se están desprendiendo desde distintos sectores del talud de la cabeza del medio y del pie como se muestra en las fotografías.

Topografía del talud para crear en CAD el perfil del Talud procedimos a introducir las coordenadas (X;Y) de los puntos según la topografía que se realizó:

Tabla 3.4 (Topografía Talud 4)

| X | Y |
|----------|----------|
| 0 | 0 |
| 0 | 22,5 |
| 7,5 | 22,5 |
| 9,5 | 7,5 |
| 17 | 7,5 |
| 17 | 0 |

Nota.- * *Puntos externos del Talud (Arbitrario)*

FOTOGRAFÍA N° 18 ubicado en la progresiva 8+800 en el tramo



FOTOGRAFÍA N° 19 Recoleccion de muestra del Talud ``4``



TALUD "5".-

Es el último talud seleccionado, está ubicado entre las progresivas 8+700 y 8+800, en el lado derecho del camino tiene una **altura** de 10 m, una **longitud** de 100 m.

En este talud encontramos lutita fracturada, arenosa fina con limo, es material con rocas de tamaños variables que como se ve en las fotografías son materiales que constan de distinta consolidación por su color.

Topografía del talud para crear en CAD el perfil del Talud procedimos a introducir las coordenadas (X;Y) de los puntos según la topografía que se realizó:

Tabla 3.5 (Topografía Talud 5)

| X | Y |
|-----|------|
| 0 | 0 |
| 0 | 17,5 |
| 7,5 | 17,5 |
| 9,5 | 7,5 |
| 17 | 7,5 |
| 17 | 0 |

Nota.- * *Puntos externos del Talud (Arbitrario)*

FOTOGRAFÍA N° 20 ubicado en la progresiva 8+700 en el tramo



FOTOGRAFÍA N° 21 Recoleccion de muestra del Talud ``5``



3.2.1.2. Permeabilidad en el campo.

Las permeabilidades encontradas en el campo fueron medidas en huecos que tenían una profundidad de 0,20m y un área de 0,20m por 0,20m los cuales se extrajo la muestra de suelo el cual tenía fino pero eran fino de las rocas las cuales se rompían al cavar el hueco una vez hecho el hueco se echaba el agua de un volumen conocido pero al colocar la regla para medir la altura del líquido se obtuvo diferentes alturas esto se debe a que se filtraba el agua asía los costados más rápidamente o que se acomodaba mejor en el hueco posteriormente se tomaba el tiempo cada un centímetro que se bajaba el nivel del agua hasta que baje un nivel considerable para posteriormente se calculaba la permeabilidad en gabinete y los cuales variaba diferente uno del otro.

Se pudo apreciar que en lugares más rocosos tardaba más en introducirse el líquido y los que tenían más fino de las rocas se introducía más rápido pero una vez que se saturaba el fino tardaba nuevamente en introducirse el líquido.

De acuerdo a la permeabilidad en cada talud se lo pudo clasificar de acuerdo a tablas que se encuentra en diferentes bibliografías, que se muestran a continuación para su clasificación de cada talud.

La facilidad con que el suelo fluye a través de un material, se denomina “conductividad hidráulica” (permeabilidad) y el parámetro que permite cuantificar este fenómeno se llama “coeficiente de permeabilidad” y se encuentra en la literatura con la simbología de la letra

K. La conductividad hidráulica depende del tamaño de los vacíos o poros, es alta en las gravas y baja en las arcillas (Tablas 3.6 y 3.7).

Tabla 3.6 Según tipo de roca fuente Universidad Nacional de Cajamarca

| Tipo de roca | Coeficiente de permeabilidad (m/seg) | Porosidad (n) |
|----------------------|---|---------------|
| | | (%) |
| Ígneas | | |
| Basalto | 10^{-6} a 10^{-7} | 1,0 - 3,0 |
| Diabasa | 10^{-7} a 10^{-9} | 0,1 - 0,5 |
| Gabro | 10^{-7} a 10^{-9} | 0,1 - 0,6 |
| Granito | 10^{-5} a 10^{-6} | 1,0 - 4,0 |
| Metamórfica | | |
| Cuarcita | 10^{-7} a 10^{-9} | 0,2 - 0,6 |
| Esquisto | 10^{-6} | - |
| Gneis | 10^{-5} a 10^{-6} | - |
| Mármol | 10^{-6} a 10^{-7} | 2,0 - 4,0 |
| Pizarra | 10^{-6} a 10^{-9} | 0,1 - 1,0 |
| Sedimentarias | | |
| Areniscas | 10^{-4} a 10^{-6} | 4,0 - 20,0 |
| Caliza | 10^{-4} a 10^{-6} | 5,0 - 15,0 |
| Dolomita | $4,6 \cdot 10^{-11}$ - $1,2 \cdot 10^{-10}$ | - |
| Lutita | 10^{-5} a 10^{-6} | 5,0 - 20,0 |

Tabla 3.7 Tamaño de poros y permeabilidad (Lee-1996) Clases de permeabilidad de los suelos para obras de ingeniería civil

| Clases de permeabilidad de los suelos | Coeficiente de permeabilidad (K en m/s) | |
|---------------------------------------|---|--------------------|
| | Límite inferior | Límite superior |
| Permeable | 2×10^{-7} | 2×10^{-1} |
| Semipermeable | 1×10^{-11} | 1×10^{-5} |
| Impermeable | 1×10^{-11} | 5×10^{-7} |

Procedimiento para el cálculo de la permeabilidad pasó a paso como se realizó las fórmulas para encontrar la permeabilidad.

Datos que se tomó en el campo:

Dónde:

Hora (minutos) **t**Profundidad de inicio (metros) **h**Profundidad de descenso del agua (metros) **P_m**Profundidades para los cálculos encontradas (metros) **h₁ y h₂**Razón diferencia entre **h₁ y h₂** (metros)Área (m²) **A**Tiempos (segundos) **t₁ y t₂**.Variación de tiempos (minutos) **Δt**.El doble de la variación de tiempos **B**.Coeficiente de permeabilidad (m/s) **K****Planilla de pasos para el cálculo¹:****PASO 1** Valores de h₁ sucesivos, m (h-P_m)

$$h_1 = h - P_m$$

PASO 2 Valores h₂, sucesivos (adelante cada h₁)

$$h_2 = h_{1+1}$$

PASO 3 Razón (h₁/h₂)

$$R = \frac{h_1}{h_2}$$

PASO 5 $A = 0,06m * \ln (h_1/h_2)$

$$A = r * \ln(h_1/h_2)$$

PASO 6 t₁ segundos**PASO 7** t₂ segundos (adelante cada t₁)

$$t_2 = t_{1+1}$$

PASO 8 (t₂-t₁) segundos

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

PASO 9 B = 2(t₂-t₁) segundo

$$B = 2 (t_2 - t_1)$$

PASO 10 K, m/s = A/B (paso 5 / paso 9)

$$K = \frac{A}{B}$$

¹ Fuente ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/general/.htm.

Talud 1: Según la tabla se lo puede clasificar la permeabilidad como roca con limolítica en una cantidad que ocupa las uniones de la roca o cuando la roca se rompe se hace limolítica ya que la permeabilidad esta entre 10^{-5} y 10^{-7} .

Tabla 3.8 TALUD 1

| POZO | ALTURA | PERMEABILIDAD |
|-----------------|---------------|----------------------|
| N° | (m) | m/s |
| 1 | 0,12 | 6,71528E-06 |
| 2 | 0,12 | 5,73256E-06 |
| 3 | 0,125 | 4,71705E-06 |
| 4 | 0,11 | 6,23591E-06 |
| 5 | 0,12 | 4,5251E-06 |
| 6 | 0,115 | 5,49938E-06 |
| PROMEDIO | | 5,57088E-06 |

Talud 2: Esta entre roca con suelo limolítica es que este talud está en una roca más consolidada y con la otra tabla se puede decir que está en el rango de permeable o semipermeable.

Tabla 3.9 TALUD 2

| POZO | ALTURA | PERMEABILIDAD |
|-----------------|---------------|----------------------|
| N° | (m) | m/s |
| 7 | 0,12 | 6,18554E-05 |
| 8 | 0,1 | 7,57922E-05 |
| 9 | 0,11 | 4,8615E-05 |
| 10 | 0,115 | 5,20648E-05 |
| 11 | 0,1 | 5,5348E-05 |
| 12 | 0,1 | 5,33064E-05 |
| PROMEDIO | | 5,78303E-05 |

Talud 3: Este talud su permeabilidad viene a ser también con las mismas características que los anteriores pero es más parecido al talud 1 es más permeable.

Tabla 3.10 TALUD 3

| POZO | ALTURA | PERMEABILIDAD |
|-----------------|---------------|----------------------|
| Nº | (m) | m/s |
| 13 | 0,18 | 1,667E-06 |
| 14 | 0,15 | 1,88625E-06 |
| 15 | 0,17 | 1,8066E-06 |
| 16 | 0,15 | 1,62097E-06 |
| 17 | 0,16 | 2,05612E-06 |
| 18 | 0,17 | 1,5142E-06 |
| PROMEDIO | | 1,75852E-06 |

Talud 4: Este talud también está entre roca con suelo limolítica es menos permeable que talud 1 y 3 y es más parecido al talud 2 está en el rango de permeable y semipermeable.

Tabla 3.11 TALUD 4

| POZO | ALTURA | PERMEABILIDAD |
|-----------------|---------------|----------------------|
| Nº | (m) | m/s |
| 19 | 0,16 | 3,38083E-05 |
| 20 | 0,14 | 2,08824E-05 |
| 21 | 0,13 | 1,78327E-05 |
| 22 | 0,12 | 2,01171E-05 |
| 23 | 0,16 | 3,02025E-05 |
| 24 | 0,14 | 1,88402E-05 |
| PROMEDIO | | 2,36139E-05 |

Talud 5: El talud 5 que se encuentra al frente del talud 5 es más de roca con suelo limolítica, además es parecido al talud 1 y 3 también es más permeable y se puede decir que los taludes en estudio son de una permeabilidad parecida pero con diferencias menores pero que varían por la consolidación que tiene la roca de cada talud en estudio.

Tabla 3.12 TALUD 5

| POZO | ALTURA | PERMEABILIDAD |
|-----------------|---------------|----------------------|
| Nº | (m) | m/s |
| 25 | 0,14 | 4,62407E-06 |
| 26 | 0,145 | 4,31291E-06 |
| 27 | 0,13 | 4,22785E-06 |
| 28 | 0,14 | 3,89234E-06 |
| 29 | 0,135 | 4,07735E-06 |
| 30 | 0,13 | 4,50214E-06 |
| PROMEDIO | | 4,27278E-06 |

3.2.1.3. Densidad In Situ en el campo.

Metodología en el campo.-

- Una vez obtenidos los pesos, salimos a excavar un hoyo de 15 centímetros de altura, pero primeramente limpiamos el lugar elegido. Ya obtenido el hoyo procedimos a utilizar el cono de arena para así poder obtener su volumen.
- El material extraído lo guardamos en una bolsa para que no pierda su humedad, y así obtengamos el peso del suelo húmedo retirado del hoyo.
- Sobre el hoyo instalamos la placa, y volcamos el equipo.
- Abrimos la llave y dejamos caer la arena hasta que el hueco y cono se llenen.
- Se cierra el equipo después y pesamos el saldo de arena que quedó después del ensayo.
- Extrajimos una pequeña muestra del suelo del hoyo para poder obtener su humedad, pesamos esa pequeña muestra más la tara y lo introducimos al horno para su secado.
- La arena del hoyo la recuperamos para devolver al laboratorio.

Tabla 3.13 Densidades

| TALUD | DENSIDA | |
|-------|---------|--------------------|
| | Nº | gr/cm ³ |
| 1 | 1,47 | 14,7 |
| 2 | 2,24 | 22,4 |
| 3 | 2,18 | 21,8 |
| 4 | 1,63 | 16,3 |
| 5 | 1,56 | 15,6 |

3.2.1.4. Peso específico seco y saturado:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m}$$

$$\gamma_{sat} = \frac{W_s + W_w}{V_m}$$

Dónde:

γ_d = Peso Específico Seco.

γ_{sat} = Peso Específico Saturado.

W_s = Peso total de la fase sólida de la muestra del suelo.

V_m = Volumen total de la muestra del suelo.

W_w = Peso total de la fase líquida de la muestra.

Tabla 3.14 Peso Específico en estado Seco y Saturado más su Factor de seguridad

| ESTADO SECO | ESTADO SATURADO | TALUD | BISHOP | | BISHOP | | MORGENSTERN - PRICE | | ORDINARY | |
|-------------------|-------------------|-------|--------|-------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
| PESO ESPECIFICO | PESO ESPECIFICO | Nº | F.S. | | F.S. | | F.S. | | F.S. | |
| KN/m ³ | KN/m ³ | | | | CRITICO DE DESLIZAMIENTO | | CRITICO DE DESLIZAMIENTO | | CRITICO DE DESLIZAMIENTO | |
| 18,78 | 20,14 | 1 | 1.258 | 1.240 | 0.723 | 0.711 | 0.717 | 0.705 | 0.714 | 0.696 |
| 27,31 | 28,14 | 2 | 1.046 | 1.041 | 0.813 | 0.806 | 0.804 | 0.797 | 0.781 | 0.773 |
| 25,24 | 26,63 | 3 | 1.258 | 1.250 | 0.758 | 0.744 | 0.751 | 0.736 | 0.735 | 0.719 |
| 21,93 | 23,91 | 4 | 1.204 | 1.190 | 0.377 | 0.367 | 0.369 | 0.360 | 0.375 | 0.363 |
| 20,25 | 21,78 | 5 | 1.510 | 1.488 | 0.735 | 0.725 | 0.733 | 0.719 | 0.638 | 0.609 |

Tabla 3.15 Valores típicos de propiedades físicas de las rocas.

| Tipo de roca | Peso específico seco | | Porosidad (n) |
|----------------------|----------------------|---------------------|---------------|
| | (tp/m ³) | KN/m ³) | (%) |
| Ígneas | | | |
| Basalto | 2,21-2,77 | 21,66-27,15 | 0,22-22,06 |
| Diabasa | 2,82-2,95 | 27,64-28,91 | 0,17-1,00 |
| Gabro | 2,72-3,0 | 26,66-29,40 | 0,00-3,57 |
| Granito | 2,53-2,62 | 24,79-25,68 | 1,02-2,87 |
| Metamórfica | | | |
| Cuarcita | 2,61-2,67 | 25,58-26,17 | 0,40-0,65 |
| Esquisto | 2,6-2,85 | 25,48-27,93 | 10,00-30,00 |
| Gneis | 2,61-3,12 | 25,58-30,58 | 0,32-1,16 |
| Mármol | 2,51-2,86 | 24,60-28,03 | 0,66-0,81 |
| Pizarra | 2,71-2,78 | 26,6-27-24 | 1,84-3,61 |
| Sedimentarias | | | |
| Areniscas | 1,91-2,58 | 18,72-25,28 | 1,62-26,40 |
| Caliza | 2,67-2,72 | 26,17-26,66 | 0,27-4,10 |
| Dolomita | 2,67-2,72 | 26,17-26,67 | 0,27-4,11 |
| Lutita | 2,0-2,40 | 19,60-23,52 | 20,00-50,00 |

FUENTE: fuente Universidad Nacional de Cajamarca

Tabla 3.16 Determinación de la clase del macizo rocoso

| VALOR TOTAL DEL R.M.R | 81-100 | 61-80 | 41-60 | 21-40 | <20 |
|-----------------------|-----------|-------|-------|-------|----------|
| CLASE NUMERO | I | II | III | IV | V |
| DESCRIPCION | MUY BUENO | BUENO | MEDIO | MALO | MUY MALO |

Tabla 3.17 Significado de las clases de macizo rocoso

| CLASE NUMERO | I | II | III | IV | V |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| TIEMPO DE MANTENIMIENTO | 20 años para 15 m | 1 año para 10 m | 1 semana para 5 m | 10 horas para 2,5 m | 30 minutos para 1 m |
| COHESION (KPa) | >400 | 300-400 | 200-300 | 100-200 | <100 |
| ANGULO DE FRICCION (Grados) | >45° KPa | 35°-45° | 25°-35° | 15°-25° | <15° |

Fuente mecánica de rocas Pedro Ramírez Oyanguren y Leandro Alejandro Monge

3.2.1.4. Análisis de las muestras en el laboratorio.

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

- Corte Directo.
- Ángulo de Fricción.
- Ángulo de Cohesión.

Se tomó una muestra inalterada del lugar de estudio para posteriormente cortar la roca de dimensiones conocidas para que pueda colocarse dentro del molde para realizar el ensayo de corte directo de 5,97cm por 5,97cm por un espesor de 2,45cm.

FOTOGRAFÍA N° 22 y N° 23 muestra cortada talud 2



FOTOGRAFÍA N° 24 muestra en el molde



Equipo de corte directo

FOTOGRAFÍA N° 25 equipo



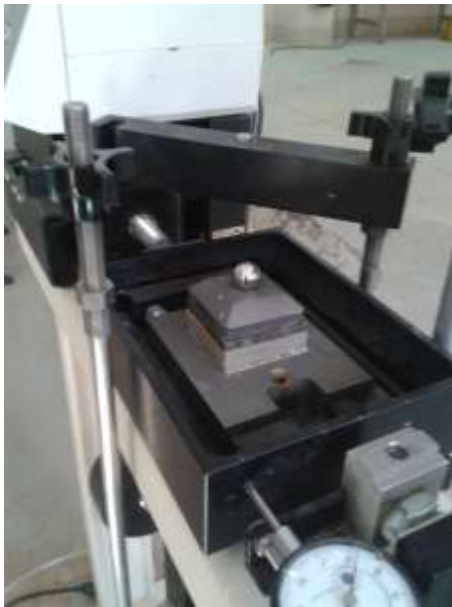
Pasos para preparar la muestra

Una vez cortados se procede a pesarlo para posteriormente colocar la muestra en el molde dentro del equipo se lo calibra bien con el peso, una vez calibrado se coloca los medidores que son tres uno es para lectura el corte horizontal, el otro para el corte vertical y el último para medir las vueltas que da el equipo para controlar cada 5 los datos de los cortes, y por último se llena el molde con agua para dejarlo saturar durante 24 horas.

Después de saturado antes de empezar el ensayo de corte se prosigue a lectura el asentamiento que sufrió la muestra una vez lectorado se debe sacar el agua del molde una sacada toda el agua se coloca los medidores a cero para empezar el corte y se empieza a anotar con la ayuda de otra persona los datos de corte horizontal y vertical, hasta que deje de girar los medidores o que se escuche el sonido de que se termina de cortar la muestra.

Luego de cortado se extrae la muestra y luego se lo pesa para conocer su peso luego de saturado durante 24 horas, luego se lo coloca en el horno para dejar secar para conocer su peso del suelo seco para conocer su saturación de cada muestra con cada diferente peso.

FOTOGRAFÍA N° 26 y 27 como queda la muestra despues del corte



Este procedimiento se hace para tres muestras pero haciendo variar el peso para cada una de las muestras en nuestro estudio se comenzó con 4kg ,8kg y con 16 kg esto se debe según indica la norma.

3.2.2. Trabajo de gabinete.

Este aspecto contemplo 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.

3.2.2.1. Resultados.

- Las muestras de los taludes “1”, “2”, “3”, “4” y “5” de acuerdo al estudio realizado, tienen la siguiente clasificación:

Las probables rocas lutitas funcionan como barreras hidráulicas, confinando el nivel freático, debido a que tiene baja permeabilidad.

La región del flujo de agua se representa por flujos de líneas de igual potencial.

El potencial es un importante parámetro en el flujo de agua. Este es definido como la elevación de un punto dado de la presión expresada en el peso de agua.

El flujo de agua se mueve de alto a bajo potencial fluye a lo largo de líneas equipotenciales.

3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y POSIBILIDADES DE SOLUCIÓN.

3.3.1. Talud “1”

TRAMO Choroma – Túnel Falda la Queñua.

PROGRESIVA 4+200 y 4+320

TALUD Corte (lado derecho).

Descripción del talud.

El material de este talud está conformado por suelo limolita con presencia de grandes rocas fracturadas que en su mayoría son lutitas, debido a estas características, en este talud se presentan pequeños deslizamientos, que hacen que el talud sea inestable con un alto riesgo de que los materiales que componen dicho talud, interfieran con el tránsito normal, debido a que éstos caen directamente sobre la plataforma de la carretera, pudiendo ocasionar accidentes. El talud tiene una **altura** de 15 metros y un **ancho** de 120 metros.

El detalle del análisis de suelos referente a este talud se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.18 TALUD 1

| Descripción | Permeabilidad promedio de los 6 puntos (m/s) | Densidad (KN/m ³) | Ángulo de Fricción (°) | Cohesión (Kg/cm ²) |
|-------------|--|-------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Talud “1” | 5,57088E-06 | 14,7 | 33 | 1,2 |

Analizando la permeabilidad (tabla 3.18) con la tabla 3.7 podemos decir que se trata de un suelo semipermeable moderada limo orgánico o inorgánico la cual suele medirse de acuerdo a la velocidad de flujo de agua a través de éste durante un período determinado de tiempo.

Muchos factores afectan a la permeabilidad del suelo. En ocasiones, se trata de factores en extremo localizados, como fisuras y cárcavas, es difícil hallar valores representativos de la permeabilidad a partir de mediciones reales.

La densidad obtenida (tabla 3.18) en el **Talud "1"** en la parte de la cabeza, da 14.7 KN/m^3 (Cono de Arena), que es diferente al obtenido en laboratorio que es de 18.78 KN/m^3 y guiándonos con la tabla 3.15 se asemeja a la lutita que está en el rango de 19.60-23.52 y el saturado se obtuvo en laboratorio después de 24 horas un valor de 20.14 KN/m^3 Semipermeable y la resistencia al corte en estado compacto y saturado se caracteriza por **REGULAR**, en la compresibilidad en el mismo estado es **ELEVADA**, en la facilidad de tratamiento en obra es **DEFICIENTE**.

El ángulo de fricción es 33° (tabla 3.18) y con la tabla 3.16-3.17 la clasificación nos indica que es de clase número **III** su descripción es **MEDIO**, con un tiempo de mantenimiento de 1 semana para 5 m.

El detalle de los métodos de protección seleccionados como nuevas tecnologías, y su respectiva comparación tanto de parámetros de diseño como especificaciones técnicas, se muestran en la siguiente tabla (tabla 3.19 y 3.20).

Tabla 3.19 Especificaciones de concreto lanzado

| ESPECIFICACIÓN | VALOR | OBSERVACIONES |
|---------------------------------------|---|--|
| Asentamiento | Vía húmeda: $5'' \pm 1''$ (127 \pm 25 mm) | Evaluated de acuerdo con la NTC 396. |
| Resistencia a la compresión a 28 días | Desde 3000 hasta 6000 psi (21 a 41 MPa) | Evaluada de acuerdo con la NTC 673 y antes de las aplicaciones de los aditivos en el sistema de lanzado. |

| | | |
|------------------------------------|--|--|
| Tamaño máximo nominal del agregado | 3/8" y 1/2" (9,5 mm y 12,5 mm) | Dependiendo de la disponibilidad de fuentes de suministro de cada región. |
| Características adicionales | Fibras (nylon, polipropileno, metálica) Sílica | Estas características son adicionadas por requerimiento del cliente de acuerdo a sus necesidades y viabilidad técnica. |

Tabla 3.20 Datos técnicos de las mallas TECCO® (Geobrugg A Company of the BRUGGGroup)

| DATOS TÉCNICOS | Tipo de Malla | | |
|---|---------------|-----------|-----------|
| | G65/3 | G65/4 | G80/4 |
| Forma de la malla | romboidal | romboidal | romboidal |
| Diámetro del círculo inscrito en el rombo [mm] | 65 | 63 | 80 |
| <i>Alambre de acero TECCO®</i> | | | |
| Diámetro del alambre [mm] | 3 | 4 | 4 |
| Límite elástico [N/mm ²] $f_y \geq$ | 1770 | 1770 | 1770 |
| Resistencia a tracción Z_w [kN] | 12,5 | 22 | 22 |
| <i>Capacidad de carga</i> | | | |
| Resistencia a la tracción de la malla Z_w [kN/m] | 150 | - | - |
| Resistencia a tracción directa en la dirección longitudinal | - | 250 | 190 |
| Resistencia a tracción directa en la dirección transversal | - | 90 | 70 |

| | | | |
|---|-----|---|---|
| Resistencia a punzonamiento D_R [kN] | 180 | - | - |
| Capacidad de soporte a cortante P_R [kN] | 90 | - | - |
| Capacidad de soporte frente a esfuerzos paralelos al talud Z_R [kN] | 30 | - | - |

Después de analizar la muestra de suelo del talud en estudio y de los posibles métodos de protección de taludes de acuerdo a sus parámetros y especificaciones técnicas, podemos ver que la alternativa de protección del talud, o la que más se adecua es la **COLOCADO DE MALLA**, principalmente porque, el material que compone el talud analizado, es un suelo rocoso con limo consolidado, que sería el factor preponderante para desechar los demás métodos debido primeramente a que se trata de suelo con roca y poca presencia de finos, donde la mayor parte de la masa de suelo que se desprende sería retenida por la malla que se emplea para la construcción de dicho método, ya que el mayor porcentaje de las partículas presentan o alcanzan tamaños superiores a 5”.

3.3.2 Talud “2”

TRAMO Choroma – Túnel Falda la Queñua.

PROGRESIVA 4+200 y 4+800

TALUD Corte (lado izquierdo).

Descripción del talud.

El material de este talud está conformado por lutita de gran tamaño en todo el talud, rocas fracturadas que sujetan entre si de un color negro y que una vez rotas son limos consolidados la cabeza esta con más limo pero después es pura roca hasta el pie del talud presenta pequeños deslizamientos, de rocas y fino que lo vuelven inestable y aún más con la presencia de agua.

El detalle del análisis de suelos referente a este talud se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.21 TALUD 2

| Descripción | Permeabilidad promedio de los 6 puntos (m/s) | Densidad (KN/m ³) | Ángulo de Fricción (°) | Cohesión (Kg/cm ²) |
|-------------|--|-------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Talud "2" | 5,78303E-05 | 22,4 | 34 | 1.30 |

Analizando la permeabilidad (tabla 3.21) con la tabla 3.7 podemos decir que se trata de un suelo semipermeable moderada limo orgánico o inorgánico la cual suele medirse de acuerdo a la velocidad de flujo de agua a través de éste durante un período determinado de tiempo.

También que el tamaño de los poros del suelo reviste gran importancia con respecto a la tasa de filtración (movimiento del agua hacia dentro del suelo) y a la tasa de percolación (movimiento del agua a través del suelo). El tamaño y el número de los poros guardan estrecha relación con la textura y la estructura del suelo y también influyen en su permeabilidad.

La densidad (tabla 3.21) obtenida en el **Talud "2"** en la parte de la cabeza, da 22.4KN/m³ (Cono de Arena), que es diferente al obtenido en laboratorio que es de 27.31 KN/m³ y guiándonos con la tabla 3.15 se asemeja a la lutita que está en el rango de 19.60-23.52 y el saturado se obtuvo en laboratorio después de 24 horas un valor de 28.14 KN/m³ es Semipermeable y la resistencia al corte en estado compacto y saturado se caracteriza por BUENA, en la compresibilidad en el mismo estado es DESPRECIABLE, en la facilidad de tratamiento en obra es BUENA.

El ángulo de fricción es 34° (tabla 3.21) y con la tabla 3.16-3.17 la clasificación nos indica que es de clase número **III** su descripción es MEDIO, con un tiempo de mantenimiento de 1 semana para 5 m.

Después de analizar la muestra de suelo del talud en estudio (tabla 3.21) y de los posibles métodos de protección de taludes (tabla 3.19-3.20), de acuerdo a sus parámetros y especificaciones técnicas, podemos ver que la única alternativa de protección del talud, es la **LANZADO DE CONCRETO**, principalmente porque, el material que compone el talud analizado, es roca con limo consolidado de mayor tiempo.

Además de que este tramo estudiado, tiene 3 banquetas las cuales facilitarían el acceso para implementar esta alternativa, por lo que se recomienda dicha tecnología de protección.

3.3.3. Talud “3”

| | |
|-------------------|----------------------------------|
| TRAMO | Choroma – Túnel Falda la Queñua. |
| PROGRESIVA | 5+580 y 5+890 |
| TALUD | Corte (lado izquierdo). |

Descripción del talud.

El material de este talud está conformado por rocas de lutita de tamaño considerable de un color café claro y suelo limoso, en este talud se presentan deslizamientos de suelo rocas de tamaño considerable desde la parte más alta, de las banquetas de 2 m de ancho que se encuentran debido a la inestabilidad del mismo y a la gran cantidad de material en estado suelto.

El detalle del análisis de suelos referente a este talud se muestra en el siguiente tabla:

Tabla 3.22 TALUD 3

| Descripción | Permeabilidad promedio de los 6 puntos (m/s) | Densidad (KN/m ³) | Ángulo de Fricción (°) | Cohesión (Kg/cm ²) |
|-------------|--|-------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Talud “3” | 1,75852E-06 | 21,8 | 36 | 0,96 |

Analizando la permeabilidad (tabla 3.22) con la tabla 3.7 podemos decir que se trata de un suelo semipermeable moderada limo orgánico o inorgánico la cual suele medirse de acuerdo a la velocidad de flujo de agua a través de éste durante un período determinado de tiempo.

Las observaciones sobre la textura del suelo, su estructura, consistencia, color y manchas de color, la disposición por capas, los poros visibles y la profundidad de las capas impermeables como la roca madre y la capa de arcilla, constituyen la base para decidir si es probable que las mediciones de la permeabilidad sean representativas.

La densidad (tabla 3.22) obtenida en el **Talud “3”** en la parte de la cabeza, da 21.8KN/m³ (Cono de Arena), que es diferente al obtenido en laboratorio que es de 25.24 KN/m³ y

guiándonos con la tabla 3.15 se asemeja a la lutita que está en el rango de 19.60-23.52 y el saturado se obtuvo en laboratorio después de 24 horas un valor de 26.63 KN/m³ es Semipermeable y la resistencia al corte en estado compacto y saturado se caracteriza por BUENA, en la compresibilidad en el mismo estado es DESPRECIABLE,, en la facilidad de tratamiento en obra es BUENA.

El ángulo de fricción es 36° (tabla 3.22) y con la tabla 3.16-3.17 la clasificación nos indica que es de clase número II su descripción es BUENO, con un tiempo de mantenimiento de 1 año para 10 m.

Después de analizar la muestra de suelo del talud en estudio (tabla 3.17) y de los posibles métodos de protección de taludes (tabla 3.19-3.20), de acuerdo a sus parámetros y especificaciones técnicas, podemos ver que la alternativa de protección del talud que mejor se adecua son las **LANZADO DE CONCRETO**, debido primeramente a que se trata de suelo rocoso con presencia de limos consolidados, dónde la mayor parte de la masa de suelo que se desprende sería retenidos un mayor tiempo con el concreto así mismo el talud cuenta con 2 banquinas que facilitarían el lanzado.

3.3.4. Talud “4”

| | |
|-------------------|----------------------------------|
| TRAMO | Choroma – Túnel Falda la Queñua. |
| PROGRESIVA | 8+530 y 8+800 |
| TALUD | Corte (lado derecho) |

Descripción del talud.

El material de este talud está conformado por suelo rocoso lutítico, es material I de tamaños variables pero considerables, y es un talud inestable por presentar deslizamientos de una masa de suelo de gran envergadura.

El detalle del análisis de suelos referente a este talud se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.23 TALUD 4

| Descripción | Permeabilidad promedio de los 6 puntos (m/s) | Densidad (KN/m ³) | Ángulo de Fricción (°) | Cohesión (Kg/cm ²) |
|-------------|--|-------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Talud "4" | 2,36139E-05 | 16,3 | 24 | 0,60 |

Analizando la permeabilidad (tabla 3.23) con la tabla 3.7 podemos decir que se trata de un suelo semipermeable moderada limo orgánico o inorgánico la cual suele medirse de acuerdo a la velocidad de flujo de agua a través de éste durante un período determinado de tiempo.

Sabemos que el suelo está constituido por varios horizontes, y que, generalmente, cada uno de ellos tiene propiedades físicas y químicas diferentes. Para determinar la permeabilidad del suelo en su totalidad, se debe estudiar cada horizonte por separado.

La densidad (tabla 3.23) obtenida en el **Talud "4"** en la parte de la cabeza, da 16.3KN/m³ (Cono de Arena), que es diferente al obtenido en laboratorio que es de 21.93 KN/m³ y guiándonos con la tabla 3.15 se asemeja a la lutita que está en el rango de 19.60-23.52 y el saturado se obtuvo en laboratorio después de 24 horas un valor de 23.91 KN/m³ es Semipermeable y la resistencia al corte en estado compacto y saturado se caracteriza por BUENA, en la compresibilidad en el mismo estado es MUY BAJA, en la facilidad de tratamiento en obra es REGULAR.

El ángulo de fricción es 24° (tabla 3.23) y con la tabla 3.16-3.17 la clasificación nos indica que es de clase número **IV** su descripción es MALO, con un tiempo de mantenimiento de 10 horas para 2,5 m.

Después de analizar la muestra de suelo del talud en estudio (tabla 3.23) y de los posibles métodos de protección de taludes (tabla 3.19-3.20), de acuerdo a sus parámetros y especificaciones técnicas, podemos ver que la alternativa más recomendable de protección del talud es la construcción de **COLOCADO DE MALLA**, porque se trata de suelo rocoso de color blanco con líneas cafés que son limos, donde más de la mitad de la masa de suelo que se desprende sería retenida por la malla que se emplea para la construcción de dicho método, ya que el mayor porcentaje de las partículas presentan o alcanzan tamaños considerables pero son más blandos porque tiene menor tiempo de consolidación.

La abertura de la malla que más se utiliza es la de 5x7cm, además la cantidad de suelo desprendido es muy grande y se produce una mayor energía de impacto, que es uno de los principales requerimientos para el emplazamiento de este método de protección de taludes.

3.3.5 Talud “5”

TRAMO Choroma – Túnel Falda la Queñua.

PROGRESIVA 8+700 y 8+800

TALUD Corte (lado izquierdo)

Descripción del talud.

El material de este talud está conformado por suelo rocoso lutitas, es material con limo de tamaños variables pero considerables, y es un talud inestable parecido al talud 4 y presenta deslizamientos de una roca de tamaño grande pero que se desintegran con la caída ya que el clima colabora con los deslizamientos ya que es un suelo permeable.

El detalle del análisis de suelos referente a este talud se muestra en el siguiente tabla:

Tabla 3.24 TALUD 5

| Descripción | Permeabilidad promedio de los 6 puntos (m/s) | Densidad (KN/m ³) | Ángulo de Fricción (°) | Cohesión (Kg/cm ²) |
|-------------|--|-------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Talud “5” | 4,27278E-06 | 15,6 | 26 | 0,98 |

Analizando la permeabilidad (tabla 3.19) con la tabla 3.7 podemos decir que se trata de un suelo semipermeable moderada limo orgánico o inorgánico la cual suele medirse de acuerdo a la velocidad de flujo de agua a través de éste durante un período determinado de tiempo.

En un macizo rocoso no tiene por qué existir un solo freático, pues puede estar constituido por varias capas permeables separadas por otras impermeables de forma que cada una de ellas recoja agua. Y el que está situado entre capas impermeables se denomina como acuífero confinado.

La densidad (tabla 3.24) obtenida en el **Talud “5”** en la parte de la cabeza, da 15.6KN/m³ (Cono de Arena), que es diferente al obtenido en laboratorio que es de 20.25 KN/m³ y

guiándonos con la tabla 3.15 se asemeja a la lutita que está en el rango de 19.60-23.52 y el saturado se obtuvo en laboratorio después de 24 horas un valor de 21.78 KN/m^3 es Semipermeable y la resistencia al corte en estado compacto y saturado se caracteriza por REGULAR, en la compresibilidad en el mismo estado es MEDIA, en la facilidad de tratamiento en obra es REGULAR.

El ángulo de fricción es 26° (tabla 3.24) y con la tabla 3.16-3.17 la clasificación nos indica que es de clase número **III** su descripción es MEDIO, con un tiempo de mantenimiento de 1 semana para 5 m.

Después de analizar la muestra de suelo del talud en estudio (tabla 3.24) y de los posibles métodos de protección de taludes (tabla 3.19-3.20), de acuerdo a sus parámetros y especificaciones técnicas, podemos ver que la alternativa más recomendable de protección del talud es la construcción de **COLOCADO DE MALLA**, porque se trata de suelo rocoso de lutitas y limo consolidado son rocas fracturadas de Tamaños grandes que se sujetan entre ellas y se empieza a caer una arrastra a las demás y si se desprende sería retenida por la malla que se emplea para la construcción de dicho método, ya que el mayor porcentaje de las partículas presentan tamaños superiores a $10''$.

La abertura de la malla que más se utiliza es la de 5x7cm, además la cantidad de suelo desprendido es muy grande y se produce una mayor energía de impacto, que es uno de los principales requerimientos para el emplazamiento de este método de protección de taludes.

3.4. CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD.

Se calculó el Factor de seguridad con el programa Geo Studio 2007

Talud 1

Definimos los cuatro puntos que van a definir los límites de los radios de los círculos de rotura.

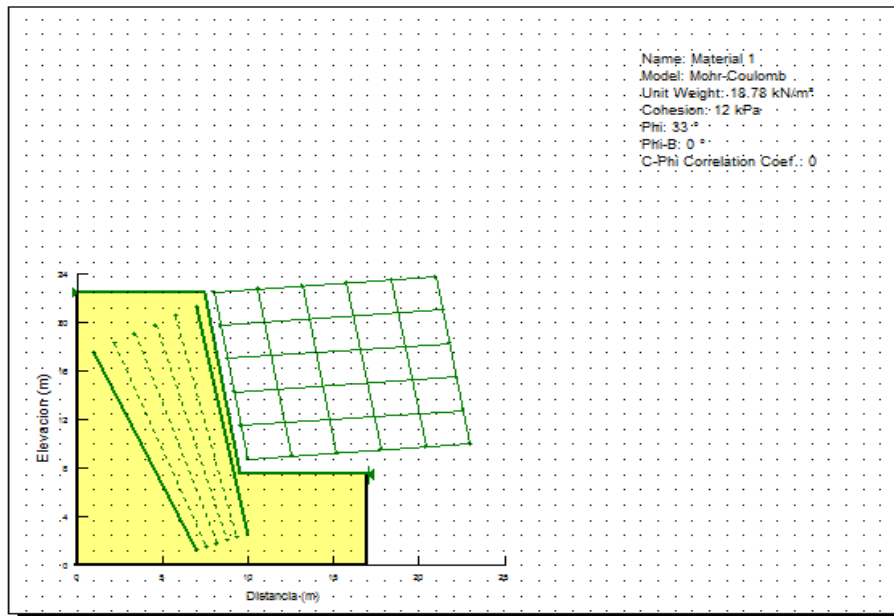
Se han generado 6 líneas de radios, es decir SLOPE/W dibujará círculos de rotura tangentes a estas líneas.

Dibujar la malla de las superficies de deslizamiento

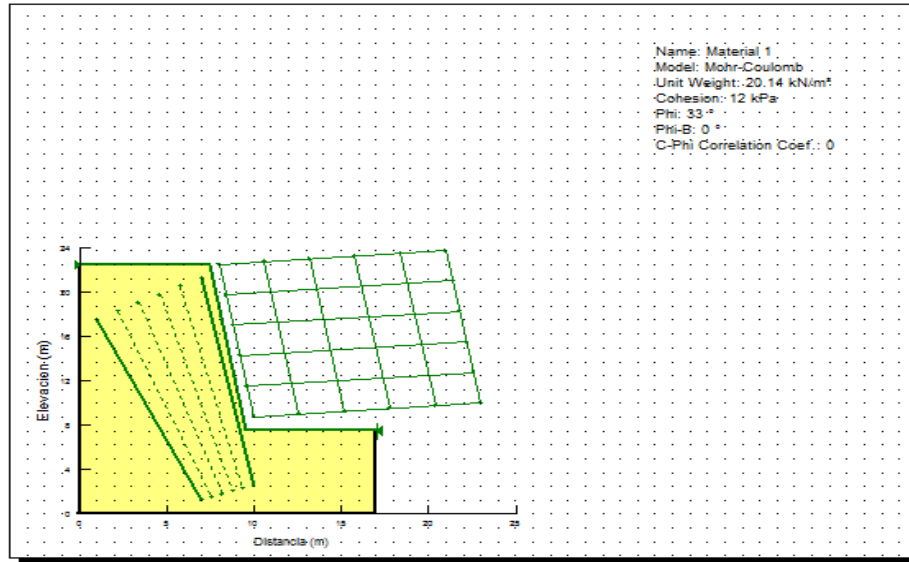
Para el control de la localización de los centros de los círculos de rotura es necesario definir una malla de centros de dichos círculos lo cual nos indica las líneas de radio en nuestro caso so 5+1 en total 6 líneas de radio y donde se dibujara círculos de roturas tangentes a estas líneas.

Posteriormente se dibuja la malla de las superficies de deslizamiento.

Estado seco:



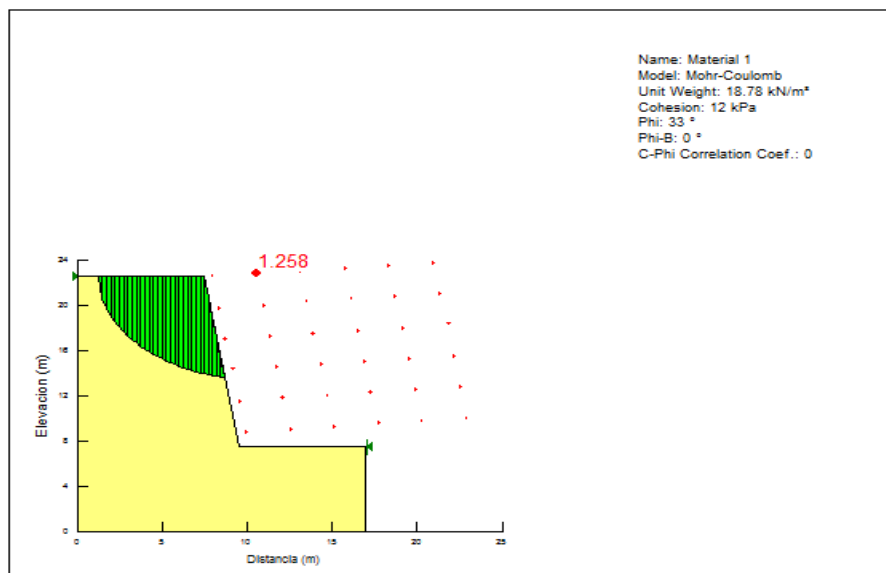
Estado saturado:



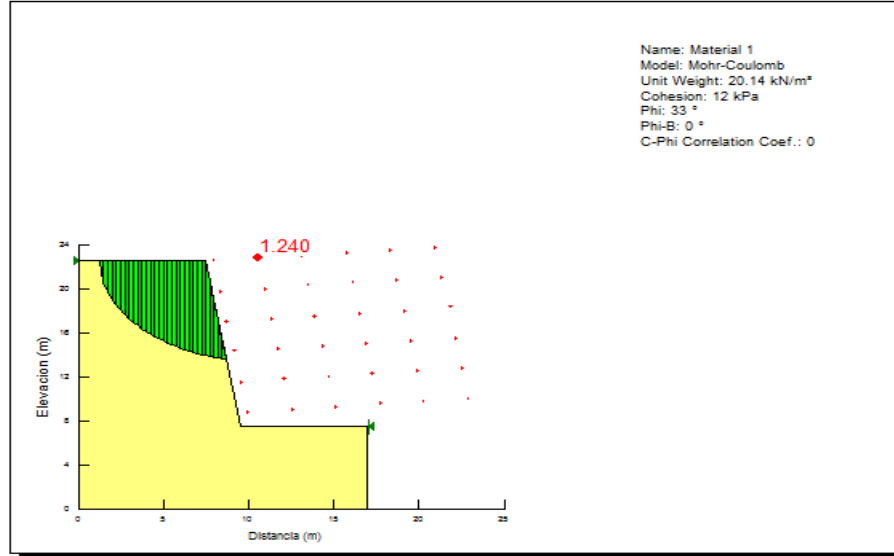
Los cálculos que permitan calcular el coeficiente de seguridad y visualizar la superficie de rotura asociada obteniendo los valores de los coeficientes de seguridad mínimos para cada una de ellas y para cada uno de los métodos de cálculo seleccionado

En este gráfico se puede ver las dovelas y el punto exacto donde actúa el factor de seguridad calculado con el programa.

Estado seco:



Estado saturado:



Como se puede evidenciar en las gráficas anteriores tenemos un factor de seguridad de 1.258 de Bishop en estado seco y un valor de 1.240 en estado saturado por lo que podemos decir que en estado saturado existe una disminución del F.S. pero que no compromete con la estabilidad del talud pero se puede llegar al análisis que a mayor saturación menor será el F.S. por lo que puede ocasionar un deslizamiento con el tiempo y tomamos el F.S. de Bishop por que toma en cuenta el agua y a través del cálculo de la estabilidad por los diferentes métodos, este es el valor más alto, por lo tanto se trata de un talud Estable.

A.- si $F_{S_{\text{Talud}}} \geq 1 \rightarrow$ Talud Estable \rightarrow No existe Superficie de Falla¹.

B.- si $0,5 \leq F_{S_{\text{Talud}}} \leq 1 \rightarrow$ Talud Inestable¹.

1 fuente Análisis de Estabilidad Juan Miguel Armas Zagoya

Talud 2

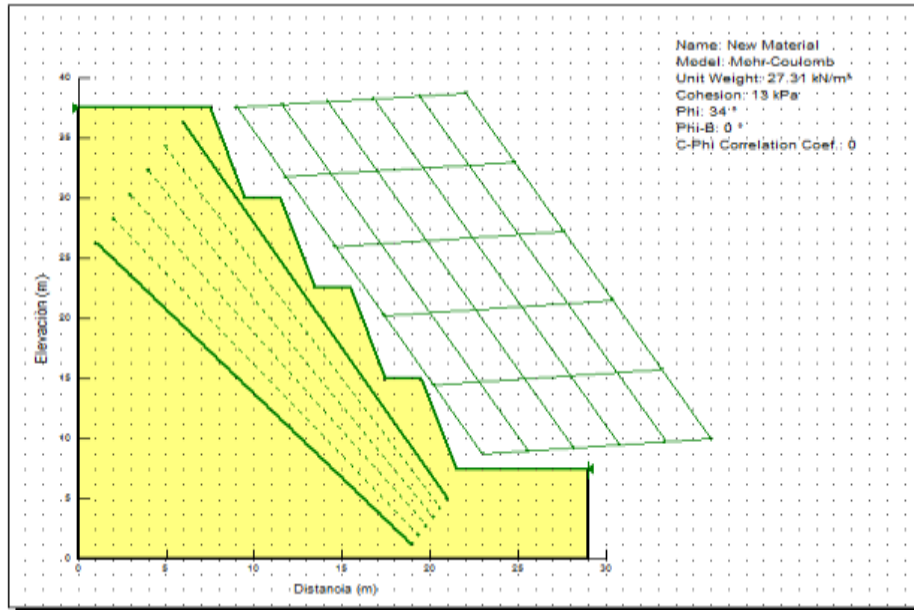
Definimos los cuatro puntos que van a definir los límites de los radios de los círculos de rotura.

Se han generado 6 líneas de radios, es decir SLOPE/W dibujará círculos de rotura tangentes a estas líneas.

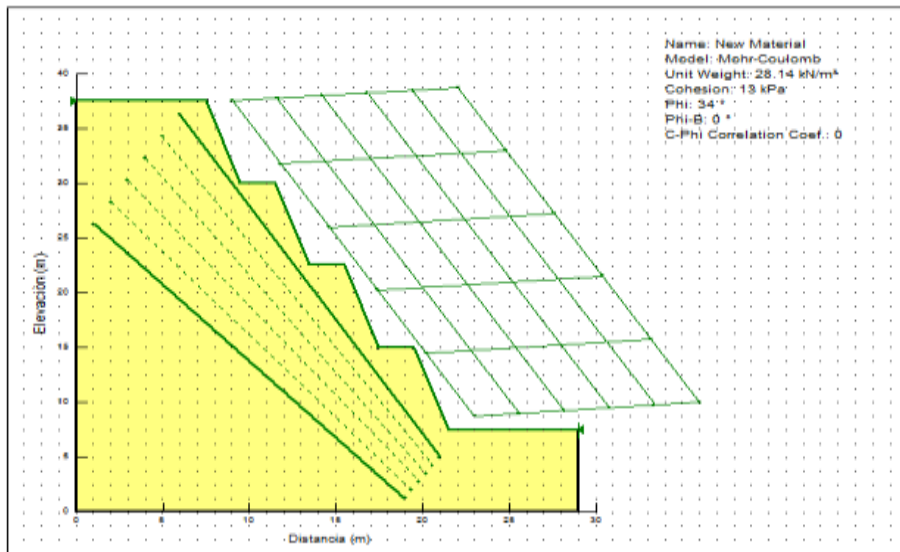
Dibujar la malla de las superficies de deslizamiento

Para el control de la localización de los centros de los círculos de rotura es necesario definir una malla de centros de dichos círculos.

Estado seco:



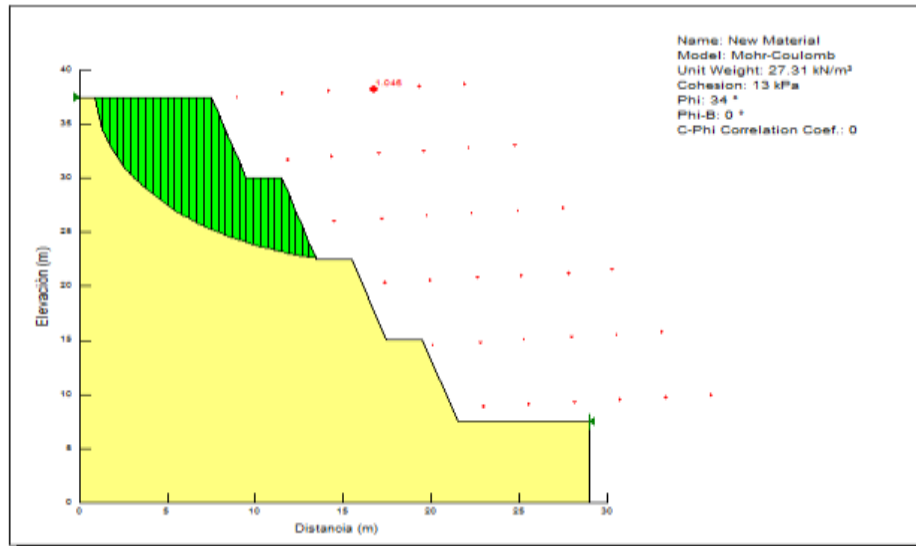
Estado saturado:



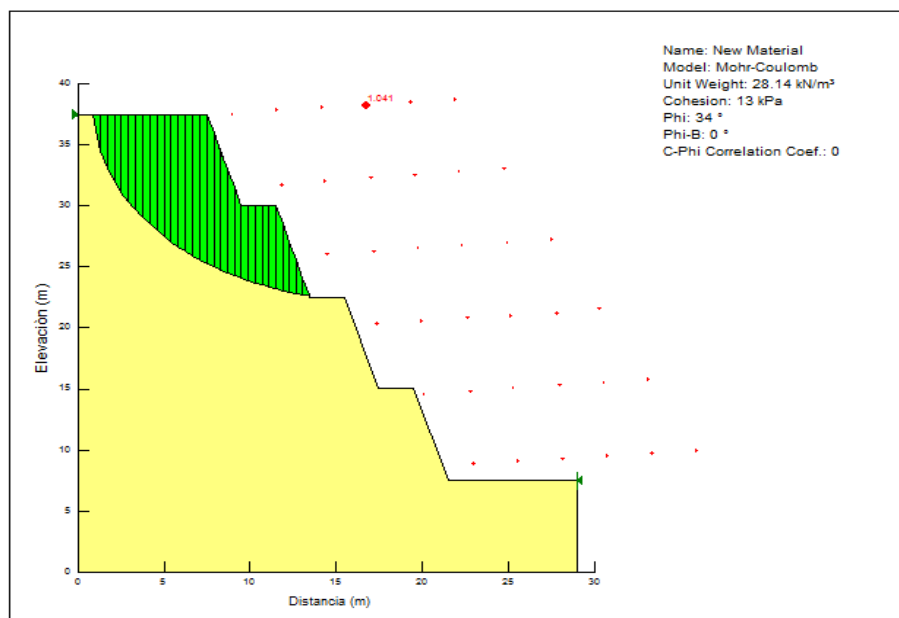
Los cálculos que permitan calcular el coeficiente de seguridad y visualizar la superficie de rotura asociada obteniendo los valores de los coeficientes de seguridad mínimos para cada una de ellas y para cada uno de los métodos de cálculo seleccionado

En este gráfico se puede ver las dovelas y el punto exacto donde actúa el factor de seguridad calculado con el programa.

Estado seco:



Estado saturado:



Como se puede evidenciar en la tabla 3.14 tenemos un factor de seguridad de 1.046 de Bishop en estado seco y un valor de 1.041 en estado saturado por lo que podemos decir que en estado saturado existe una disminución del F.S. pero que no compromete con la estabilidad del talud pero se puede llegar al análisis que a mayor saturación menor será el F.S. por lo que puede ocasionar un deslizamiento con el tiempo ya que está más próximo a 1 y convertirse en inestable y tomamos el F.S. de Bishop por que toma en cuenta el agua y a través del cálculo de la estabilidad por los diferentes métodos, este es el valor más alto, por lo tanto se trata de un talud Estable.

A.- si $F_{S_{\text{Talud}}} \geq 1 \rightarrow$ Talud Estable \rightarrow No existe Superficie de Falla¹.

B.- si $0,5 \leq F_{S_{\text{Talud}}} \leq 1 \rightarrow$ Talud Inestable¹.

1 fuente Análisis de Estabilidad Juan Miguel Armas Zagoya

Talud 3

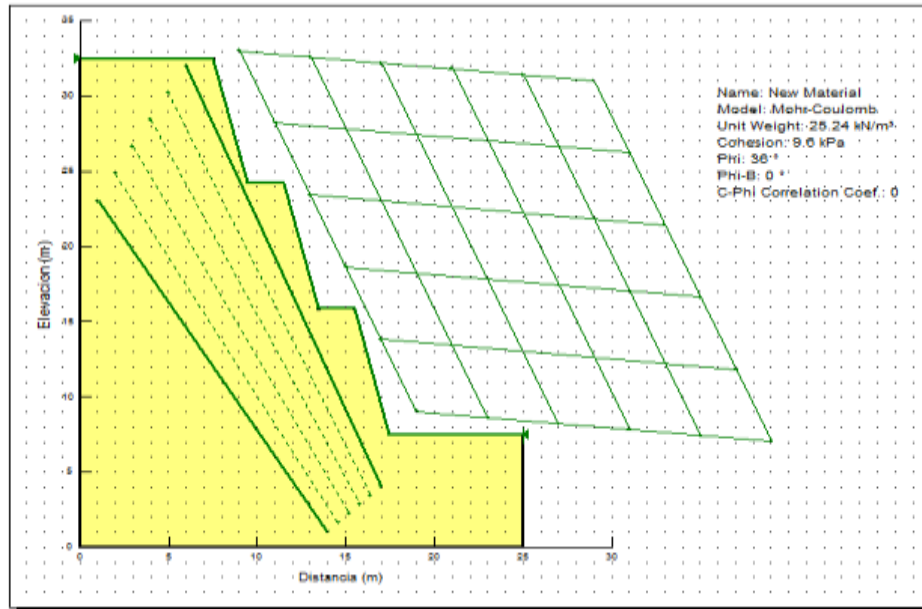
Definimos los cuatro puntos que van a definir los límites de los radios de los círculos de rotura.

Se han generado 6 líneas de radios, es decir SLOPE/W dibujará círculos de rotura tangentes a estas líneas.

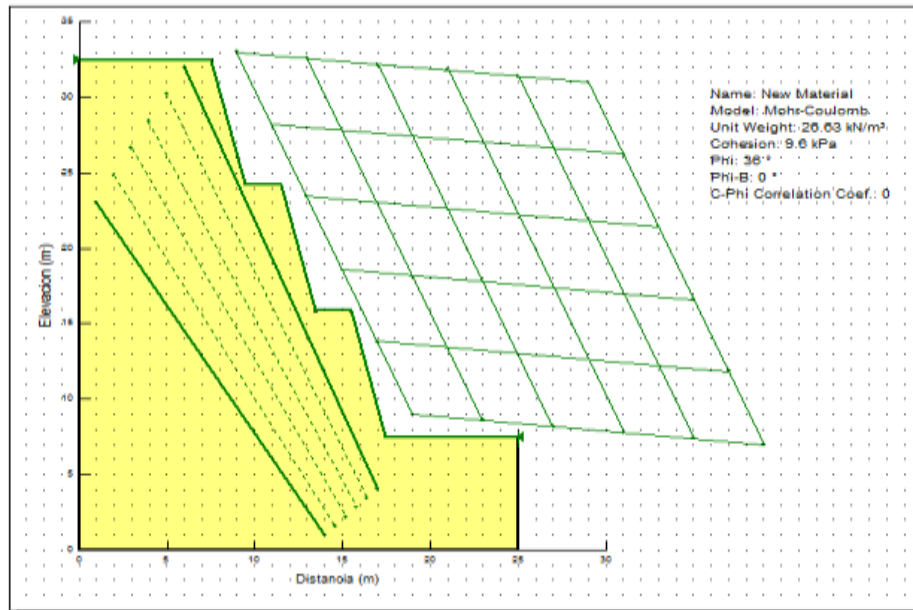
Dibujar la malla de las superficies de deslizamiento

Para el control de la localización de los centros de los círculos de rotura es necesario definir una malla de centros de dichos círculos.

Estado seco:



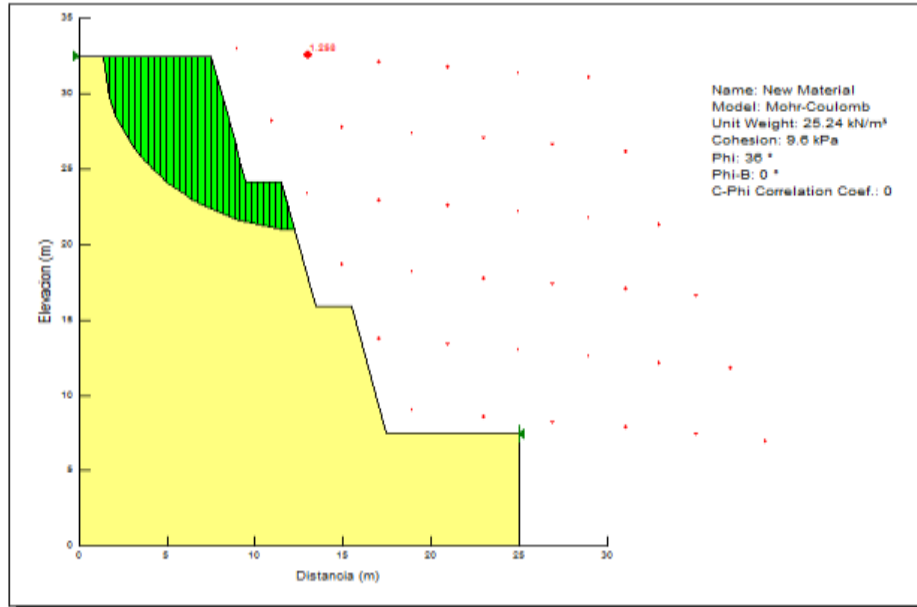
Estado saturado:



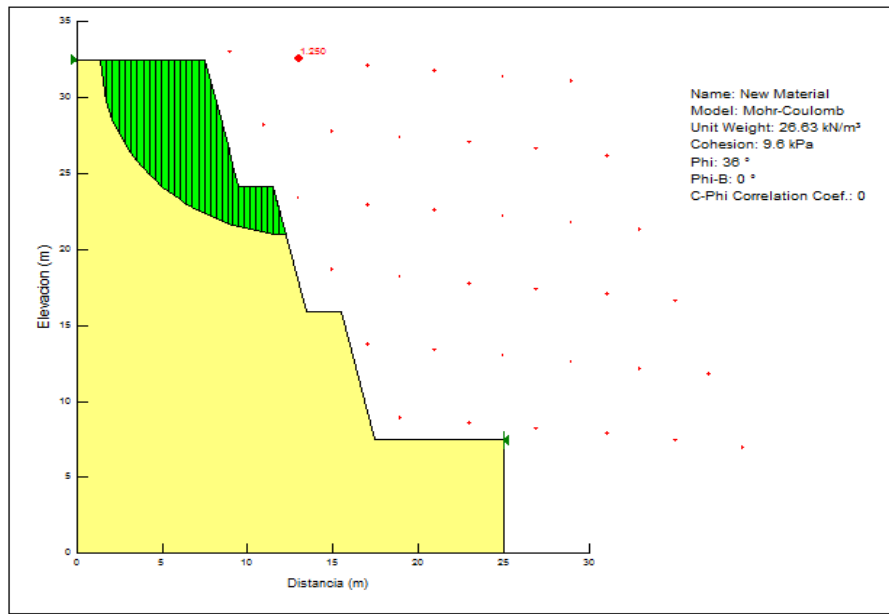
Los cálculos que permitan calcular el coeficiente de seguridad y visualizar la superficie de rotura asociada obteniendo los valores de los coeficientes de seguridad mínimos para cada una de ellas y para cada uno de los métodos de cálculo seleccionado

En este gráfico se puede ver las dovelas y el punto exacto donde actúa el factor de seguridad calculado con el programa.

Estado seco:



Estado saturado:



Como se puede evidenciar en la tabla 3.14 tenemos un factor de seguridad de 1.258 de Bishop en estado seco y un valor de 1.250 en estado saturado por lo que podemos decir que en estado saturado existe una disminución del F.S. pero que no compromete con la estabilidad del talud pero se puede llegar al análisis que a mayor saturación menor será el F.S. por lo que puede ocasionar un deslizamiento con el tiempo y tomamos el F.S. de

Bishop por que toma en cuenta el agua y a través del cálculo de la estabilidad por los diferentes métodos, este es el valor más alto, por lo tanto se trata de un talud Estable.

A.- si $F_{S_{\text{Talud}}} \geq 1 \rightarrow$ Talud Estable \rightarrow No existe Superficie de Falla¹.

B.- si $0,5 \leq F_{S_{\text{Talud}}} \leq 1 \rightarrow$ Talud Inestable¹.

1 fuente Análisis de Estabilidad Juan Miguel Armas Zagoya

Talud 4

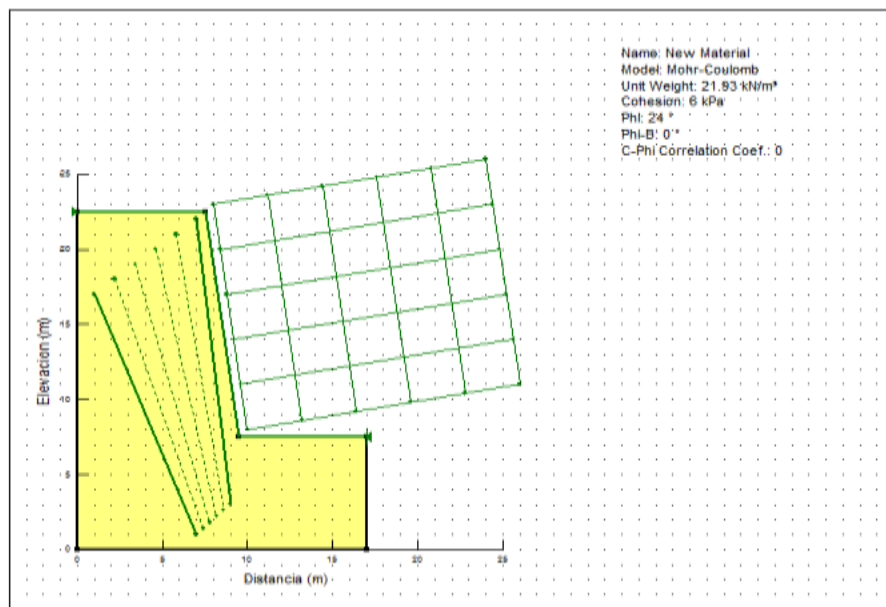
Definimos los cuatro puntos que van a definir los límites de los radios de los círculos de rotura.

Se han generado 6 líneas de radios, es decir SLOPE/W dibujará círculos de rotura tangentes a estas líneas.

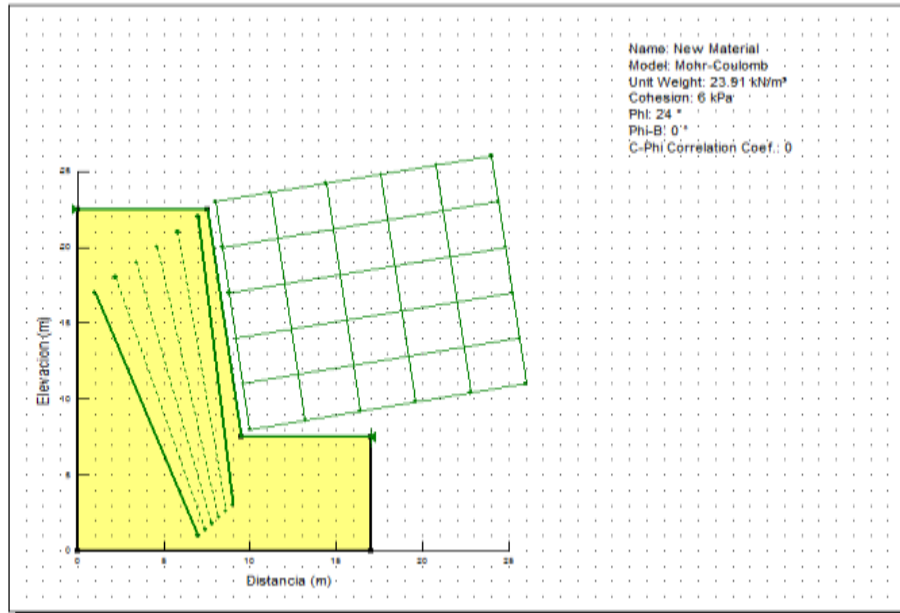
Dibujar la malla de las superficies de deslizamiento

Para el control de la localización de los centros de los círculos de rotura es necesario definir una malla de centros de dichos círculos.

Estado seco:



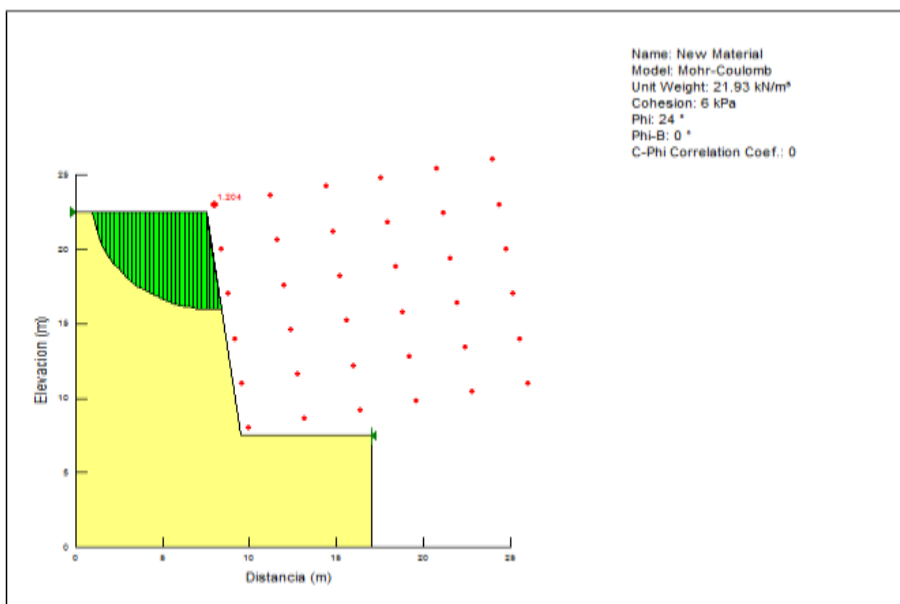
Estado saturado:



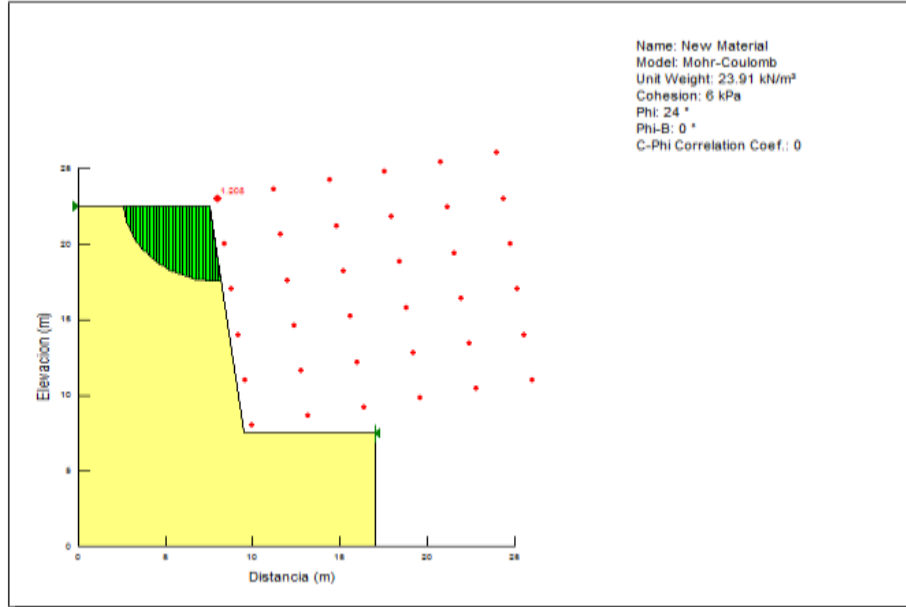
Los cálculos que permitan calcular el coeficiente de seguridad y visualizar la superficie de rotura asociada obteniendo los valores de los coeficientes de seguridad mínimos para cada una de ellas y para cada uno de los métodos de cálculo seleccionado

En este gráfico se puede ver las dovelas y el punto exacto donde actúa el factor de seguridad calculado con el programa.

Estado seco:



Estado saturado:



Como se puede evidenciar en la tabla 3.14 tenemos un factor de seguridad de 1.204 de Bishop en estado seco y un valor de 1.190 en estado saturado por lo que podemos decir que en estado saturado existe una disminución del F.S. pero que no compromete con la estabilidad del talud pero se puede llegar al análisis que a mayor saturación menor será el F.S. por lo que puede ocasionar un deslizamiento con el tiempo y tomamos el F.S. de Bishop por que toma en cuenta el agua y a través del cálculo de la estabilidad por los diferentes métodos, este es el valor más alto, por lo tanto se trata de un talud Estable.

A.- si $Fs_{\text{Talud}} \geq 1 \rightarrow$ Talud Estable \rightarrow No existe Superficie de Falla¹.

B.- si $0,5 \leq Fs_{\text{Talud}} \leq 1 \rightarrow$ Talud Inestable¹.

1 fuente Análisis de Estabilidad Juan Miguel Armas Zagoya

Talud 5

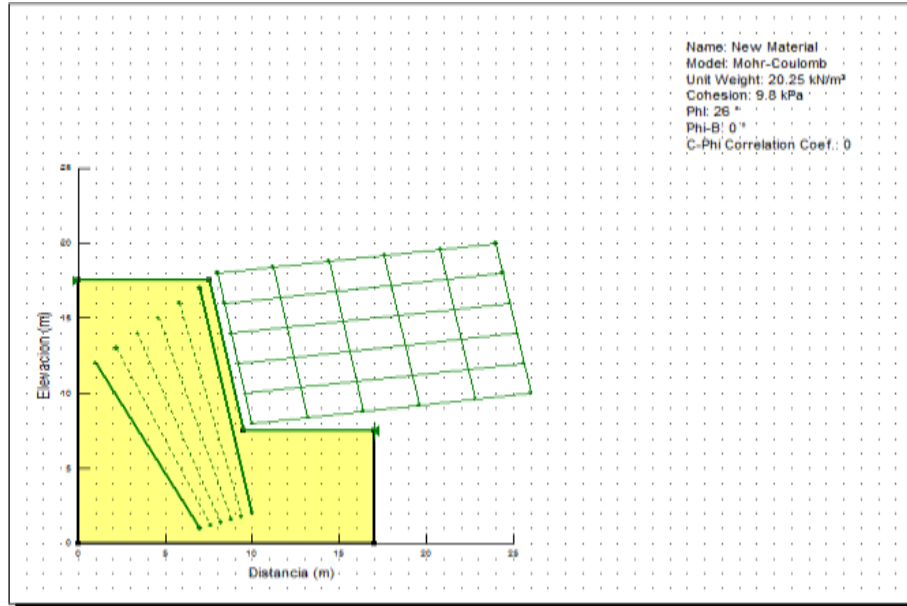
Definimos los cuatro puntos que van a definir los límites de los radios de los círculos de rotura.

Se han generado 6 líneas de radios, es decir SLOPE/W dibujará círculos de rotura tangentes a estas líneas.

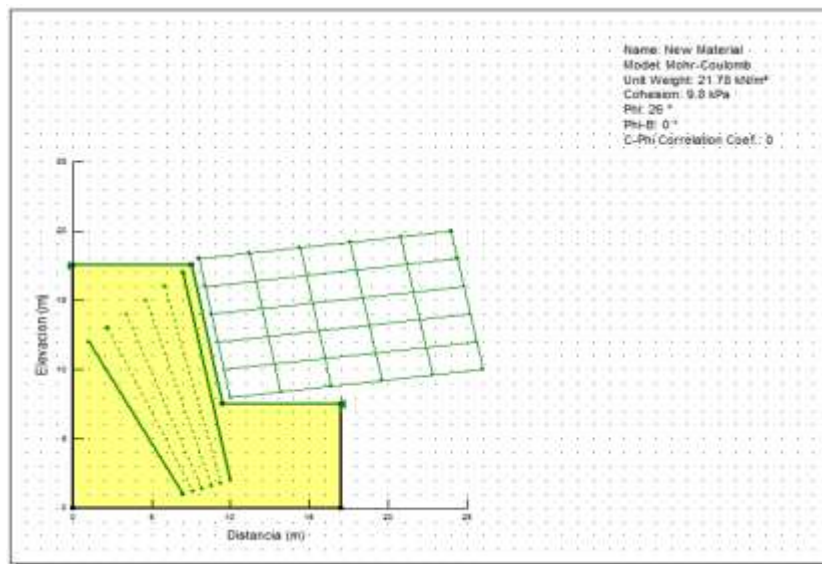
Dibujar la malla de las superficies de deslizamiento

Para el control de la localización de los centros de los círculos de rotura es necesario definir una malla de centros de dichos círculos.

Estado seco:



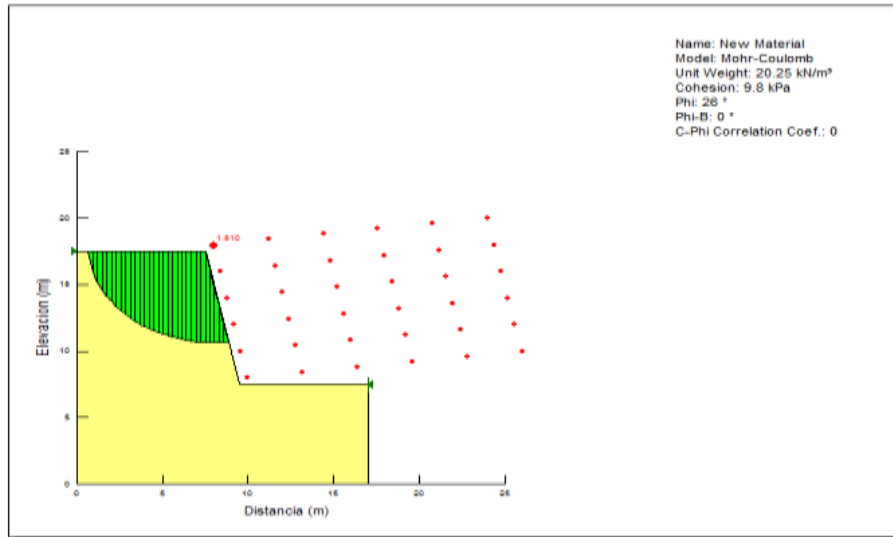
Estado saturado:



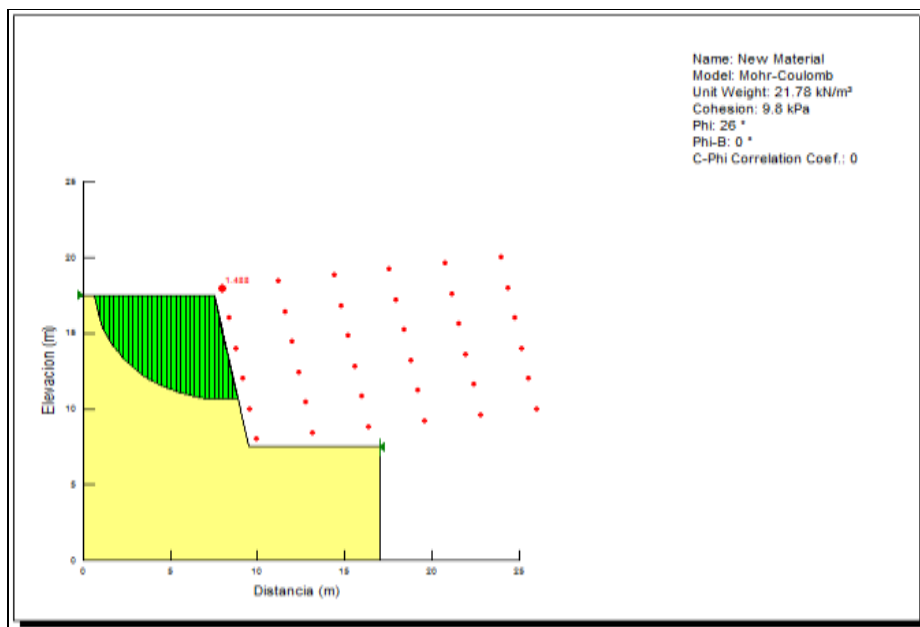
Los cálculos que permitan calcular el coeficiente de seguridad y visualizar la superficie de rotura asociada obteniendo los valores de los coeficientes de seguridad mínimos para cada una de ellas y para cada uno de los métodos de cálculo seleccionado

En este gráfico se puede ver las dovelas y el punto exacto donde actúa el factor de seguridad calculado con el programa.

Estado seco:



Estado saturado:



Como se puede evidenciar en la tabla 3.14 tenemos un factor de seguridad de 1.510 de Bishop en estado seco y un valor de 1.488 en estado saturado por lo que podemos decir que en estado saturado existe una disminución del F.S. pero que no compromete con la estabilidad del talud pero se puede llegar al análisis que a mayor saturación menor será el

F.S. por lo que puede ocasionar un deslizamiento con el tiempo y tomamos el F.S. de Bishop por que toma en cuenta el agua y a través del cálculo de la estabilidad por los diferentes métodos, este es el valor más alto, por lo tanto se trata de un talud Estable.

A.- si $F_{S_{\text{Talud}}} \geq 1 \rightarrow$ Talud Estable \rightarrow No existe Superficie de Falla¹.

B.- si $0,5 \leq F_{S_{\text{Talud}}} \leq 1 \rightarrow$ Talud Inestable¹.

1 fuente Análisis de Estabilidad Juan Miguel Armas Zagoya

En resume los taludes son Estables pero el Factor de Seguridad en estado seco es más estable que el estado saturado por lo que se puede indicar que a mayor saturación los taludes se pueden llegar a convertir en inestables por lo que con una duración de lluvia de mucho tiempo los taludes pueden pasar a la inestabilidad.

3.5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

3.5.1. Generalidades.

Cada una de estas tecnologías nuevas tiene sus propias particularidades, además su diseño es de fácil emplazamiento a los diferentes taludes o laderas de nuestro medio, ya que en su mayoría se trata de técnicas de protección empíricas que no necesitan de cálculos complicados para su diseño, sólo se requiere conocer como aspecto fundamental las características mecánicas de los suelos.

La selección de alternativas, es un tema algo complicado, puesto que hay que tener mucho cuidado a la hora de elegir una tecnología, debido a que se debe tomar en cuenta todos los parámetros medibles de los taludes en estudio, así como también los parámetros de diseño y especificaciones técnicas de las distintas alternativas de solución para ver después que tipo de tecnología es adecuada o no para los taludes analizados.

Para las diferentes alternativas de solución se utilizarán algunas de las tecnologías nuevas de uso no muy frecuente en nuestro medio que serán aplicadas a los taludes del tramo en estudio.

3.5.2. Alternativas Seleccionadas.

La selección de estos métodos de protección se la hizo después de someterlas a un análisis de posibilidades, comparando los parámetros de cada uno de los taludes en estudio,

parámetros medibles (dimensiones del talud, vegetación, etc.) y ensayos de identificación de los materiales de los taludes analizados (ensayos de suelos), además de esto se compararon parámetros de diseño y especificaciones técnicas que son necesarias a la hora de seleccionar uno de los métodos propuestos para proteger cada uno de los taludes estudiados, mismos que ya presentaban deslizamientos al momento de elegirlos para su protección.

Estas tecnologías serán sometidas a un análisis completo de criterios técnicos, para ver si al final pueden ser aplicados a los taludes analizados.

Las posibles alternativas de solución que tomamos en cuenta para la protección de los taludes “1”; “2”; “3”; “4” y “5” son las siguientes:

Lanzado de Concreto, y Colocado de Malla, siendo estas dos las soluciones propuestas como alternativa de solución, para los cinco taludes analizados, pero para una mejor comprensión necesitamos entender lo que son estos métodos y cómo funcionan ante las diferentes características de los taludes, para esto a continuación se detalla una explicación de cada una de las metodologías seleccionadas.

3.6. PLANTEAMIENTO DE PROTECCIÓN TALUD “1, 4 Y 5”

Para poder proteger este talud, que se encuentra ubicado, en el tramo Choroma-Falda de la Queñua antes del el túnel, se seleccionó la Técnica de Colocado de Malla, debido a que consideramos la mejor alternativa y se acomoda a las especificaciones técnicas, parámetros de diseño que el método lo exige.

Además de estas características, hay que tomar muy en cuenta aspectos como el clima, que en la zona en estudio es un clima cambiante de frío a calor lluvia, que representa los denominados surazos que posteriormente originan precipitaciones.

La manera de realizar todo esto, es utilizando Malla, que con sus dimensiones se puede recubrir todo el talud.

Estructuras flexibles

La principal característica de estas estructuras es que se adaptan a los movimientos.

Su efectividad depende de su peso y de la capacidad de soportar deformaciones importantes sin que se rompa la estructura.

Ejemplos de estructuras flexibles son los gaviones y las mallas de acero con pernos de anclaje.



Figura 3.1 malla de acero

3.6.1. Malla TECCO® de alambre de acero de alta resistencia

La malla TECCO® está fabricada de alambre de acero de alto límite elástico, con una resistencia a la rotura por tracción de más de 1770N/mm^2 y se fabrica en máquinas especiales desarrolladas por Geobrugg A. G., Sistemas de Protección, Romanshorn, Suiza.

En su configuración estándar, está hecha de alambre de acero de 3mm de diámetro con un revestimiento anticorrosivo de aluminio y zinc (Geobrugg supercoating). El alambre es suficientemente resistente y no se comporta como un material frágil, absorbiendo fuerzas sustancialmente mayores y evitando deformaciones al compararla con mallas de alambre de bajo o menor límite elástico del acero. La malla se puede estirar sobre las aristas vivas de la roca sin presentar ningún daño. La geometría tridimensional en forma de rombos presenta características homogéneas con una capacidad de carga de 150 kN/m en la dirección principal (eje longitudinal). La resistencia es varias veces superior a la de mallas con configuración hexagonal con o sin refuerzo longitudinal a base de cables. La malla TECCO® se suministra en rollos de $3,0 \times 3,5\text{ m}^2$.



Figura 3.2 Malla TECCO® de alambre de acero de alta resistencia (Geobrugg A Company of the BRUGG Group)

Esta malla es utilizada para proporcionar protección a la superficie de los taludes, envolviendo libremente la pendiente con el fin de controlar el movimiento descendente del suelo. Gracias a su forma, la malla se adhiere al suelo de manera ideal, mejorando la conexión con el subsuelo y, además, ayuda a mantener la vegetación en el talud (ver Figura 3.2).

Esta malla se presenta en tres variedades:

- G65/3
- G65/4
- G80/4

3.6.2. Pernos de anclaje para suelo o para roca

Para adaptarse a las solicitudes del terreno, la malla TECCO® puede fijarse de acuerdo con el dimensionamiento definido mediante anclajes comerciales para suelo o para roca. Con el dispositivo de perforación TECCO® es posible perforar directamente a través de aberturas de la malla, sin dañarla (ver Figura 4.3)



Figura 3.3: Pernos de anclaje para suelo o roca (Geobrugg A Company of the BRUGG Group)

3.6.3. Placas de fijación del sistema TECCO®

Las placas de fijación del sistema TECCO®, fabricadas con acero galvanizado de 10mm de espesor, sirven para fijar la malla al suelo o roca. Este diseño de placa fue hecho con el fin de garantizar la transmisión óptima de carga de los pernos de anclaje a la malla TECCO®, y dispone de placas rígidas de fijación en forma de rombo, con dientes y refuerzos. Con ellas es posible, a través de 16 alambres de la malla, sobre los que se apoya cada una de ellas, lograr un pretensado efectivo del sistema que varía entre 30 y 50 kN (ver Figura 4.4)



Figura 3.4: a) Placa de fijación del sistema TECCO®. b) Aplicación de la fuerza de pretensión sobre las placas (Geobrugg A Company of the BRUGG Group).

Estas placas se colocan sobre las cabezas de anclaje y se presionan por medio de un perno con el fin de pretensar la malla en la pendiente (ver Figura 3.4 b). Las placas de acero galvanizado tienen dimensiones de 330mm x 190mm x 10mm como muestra la Figura 3.5.

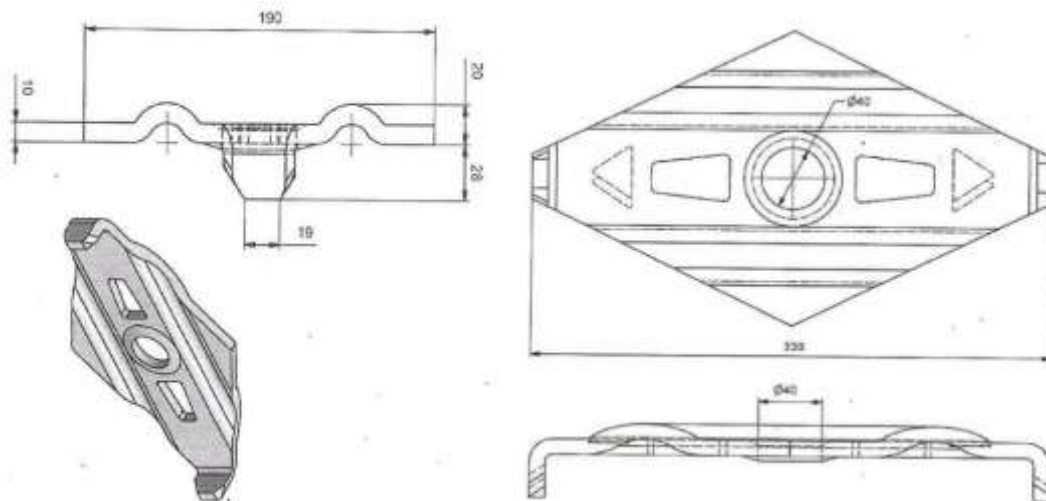


Figura 3.5: Dimensiones de la placa de fijación del sistema TECCO® (Geobrugg A Company of the BRUGG Group)

Los datos técnicos de las placas se resumen en la Tabla 3.20

Tabla 3.25: Datos técnicos del sistema de placas TECCO® (Geobrugg A Company of the BRUGG Group)

| | |
|-------------------------|---|
| Geometría | Forma de diamante (330x190 mm) |
| Espesor | 10 mm |
| Diámetro del Orificio | 40 mm |
| Tipos | Suelo y Roca |
| Protección de Corrosión | Galvanizados en caliente por la norma ISO1461, espesor de capa 55 μm . |
| Anclajes aplicables | Ej.: SWISS GEWI 25/28/32, TITAN 30/16/30/11, IBO R 25/R 32/R 38 |

3.6.4. Clips de conexión TECCO®

El clip de conexión está hecho de alambre de acero altamente elástico, con un diámetro de 4 mm y su geometría es de 60mm x 21mm (como muestra la Figura 3.6). Tiene dos ganchos externos invertidos con una resistencia a la tracción mínima de 1770 N/mm^2 , permitiendo la unión de los paños de malla y asegurando una transmisión total de los esfuerzos (ver Figura 3.6). Los clips son probados anteriormente para transferir el 100% de las cargas que tienen los paneles de mallas individuales, de esta manera se crea una estructura uniforme y homogénea de protección. Para la instalación no se precisa ninguna herramienta adicional porque los clips de conexión pueden colocarse fácilmente a mano, proporcionando una importante ventaja al momento de conectarlos, ya que en terrenos con pendientes pronunciadas y terrenos escarpados las herramientas adicionales implican esfuerzo y tiempo extra en el procedimiento de trabajo para hacer las conexiones de las mallas.

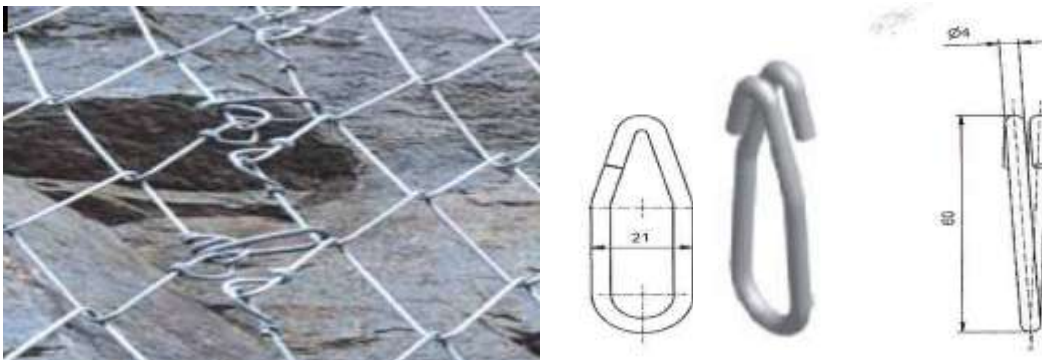


Figura 3.6: Clips de conexión TECCO® (Geobrugg A Company of the BRUGG Group)

Un resumen de los datos técnicos de los clips de conexión se muestra en la Tabla

3.26:

Tabla 3.26: Resumen de datos técnicos de los clips de conexión (Geobrugg A Company of the BRUGG Group)

| Clips de conexión | |
|--------------------------|---|
| Objetivo del clip | Actúan como elementos de conexión para interconectar las mallas. |
| Ejecución | Abrir con la mano el ojal para instalarlo. |
| Calidad del material | Cable de alta tracción de 4 mm de diámetro con una resistencia a la tracción de 1700 N/mm^2 . |
| Protección Corrosiva | Recubrimiento de Zn/Al con un espesor mínimo de 150 g/m^2 . |

3.6.5. Método de diseño para sistemas TECCO® de estabilización de taludes.

En general, este método es aplicable a todos los sistemas de estabilización de taludes TECCO®, y sus principales componentes son los pernos de anclajes en combinación con una malla de acero, cable de acero o una mezcla de las dos. El método de diseño para este tipo de sistemas flexibles está basado en el análisis de equilibrio límite.

El concepto de diseño para sistemas de estabilización flexible no supone solo un cuerpo de deslizamiento en forma de cuña sino también dos mecanismos de deslizamiento (mecanismos de falla), los cuales están considerados en las inestabilidades locales. Este sistema de estabilización flexible de superficies permite cualquier distancia entre los pernos de anclajes, ya sea en la dirección horizontal como en la vertical.

La geometría de estos mecanismos de falla fue seleccionada para simular cómo se desliza la masa. Éste deslizamiento provoca una fuerza de tracción paralela a la pendiente y la traspasa por sobre, y de forma activa, a los pernos de anclaje y a toda la longitud de los pernos. La aplicación de la fuerza de pretensado en los pernos hace que la placa haga una presión sobre la malla y el suelo. Estas fuerzas de pretensión exterior actúan sobre el talud y permiten aumentar las fuerzas de fricción adicionales en toda la superficie de deslizamiento, lo cual tiene un efecto positivo en la estabilidad del talud.

3.7. PLANTEAMIENTO DE PROTECCIÓN TALUD “2 Y 3”.

Este talud se encuentra ubicado, en el tramo Choroma-Falda de la Queñua antes del el túnel y como lo vimos se trata también de un suelo rocoso lutita limolítica, que fue el motivo principal para elegir el método de **Lanzado de Concreto** se debe también porque tiene banquinas las cuales facilitarían el lanzado.

3.7.1. Concreto para lanzado.

Descripción

Concreto diseñado, dosificado y mezclado en planta con características especiales de tamaño máximo nominal, relación Arena/Agregado Grueso y manejabilidad, para ser colocado con un equipo especial de lanzado. Este producto es diseñado bajo parámetros provenientes de las recomendaciones del ACI para este tipo de colocación o uso.

Usos

Recubrimientos de taludes y túneles.

Reparaciones estructurales.

Ventajas y Beneficios

Proceso controlado desde la materia prima hasta la entrega del producto, lo que permite ofrecer:

- Calidad certificada.
- Mezcla homogénea y manejable.
- Mínima segregación.
- Facilidad de colocación con los sistemas de concreto lanzado.

Aplicación a cualquier altura ya que se adhiere inmediatamente y sostienen su propio peso; puede aplicarse sobre superficies irregulares; tienen buena adherencia al sustrato; muestran una configuración totalmente flexible del espesor de capa en sitio; es posible también el concreto proyectado reforzado, con refuerzo de fibra o malla; puede lograrse revestimiento con rápida capacidad de soporte a cargas, sin formaletas o tiempos de espera prolongados.

Recomendaciones:

- Al momento de establecer las especificaciones del concreto, tener en cuenta las consideraciones relativas a la durabilidad de las estructuras consignadas en la Norma Colombiana para Construcciones Sismoresistentes NSR – 10 y prácticas recomendadas por el American Concrete Institute ACI.
- La calidad del producto terminado es muy sensible a los equipos y aditivos usados en el sistema para colocar y acelerar la resistencia del concreto, por lo tanto, la resistencia a la compresión especificada y la manejabilidad (medidas antes de aplicar el aditivo) se deben determinar basadas en ensayos previos (con equipos y aditivos para concreto lanzado). Las características adicionales del producto y del proceso de colocación (adaptabilidad, rebote y compatibilidad) deben ser costeadas y evaluadas técnicamente basadas en este mismo ensayo. De los ensayos anteriores puede surgir la necesidad de utilizar fibras y sílica como característica adicional.
- Controlar los procedimientos propios del sistema de colocación por lanzado.
- El concreto debe ser colocado máximo 45 minutos después de la llegada a la obra, a no ser que alguna característica especial permita lo contrario.
- La toma del asentamiento debe ser realizada antes de 30 minutos contados después de recibido el concreto en la obra.
- Cumplir con las normas técnicas existentes para la evaluación de la calidad de los concretos.

Componentes del concreto proyectado que definen una tecnología completa:

El material del concreto proyectado, el proceso de proyección y el sistema del concreto proyectado (equipos).

- Los procesos de aplicación de concreto proyectado: Vía seca y vía húmeda.
- El concreto lanzado es un método de construcción: Rápido, flexible y económico.
- Principales de la mezcla para una mejor manejabilidad y durabilidad del concreto: Alta resistencia temprana; buena bombeabilidad (suministro de flujo denso); Adecuadas características de fraguado del concreto; diseño de mezcla adecuado para lanzar; manejabilidad adecuada para el operario (largos tiempos abiertos) y rebote mínimo.

- Funciones de los agregados del concreto proyectado:

Para los parámetros principales que influyen en la homogeneidad de la mezcla de concreto proyectado; en los parámetros que determinan el requerimiento de agua; como llenante de menor costo en la matriz de concreto proyectado; como consecución de propiedades mecánicas (resistencia a la tensión, flexión y resistencia a compresión); siendo fuerte influencia en la manejabilidad de la mezcla (formas de las partículas y finos) y de alta influencia en la durabilidad requerida (porosidad y pureza).

3.7.2. Tipos del concreto proyectado:

Superplastificantes; retardadores; humo de sílice coloidal y en polvo; humo de sílice en polvo modificado con polímeros y ayudantes de bombeo y estabilizadores.

Fuente: Con información de Sika.

Un concepto

A partir de los años cincuenta del siglo XX, el American Concrete Institute (ACI), adoptó el término de concreto lanzado definiéndolo como “un mortero o concreto que es lanzado a altas velocidades en forma neumática sobre una superficie, que puede ser concreto, piedra, terreno natural, mampostería, acero, madera, poliestireno, etcétera”. La proyección a velocidades altas permite no sólo la acción de colar sino también compactar el concreto, logrando disminuir los tiempos del proceso productivo. No obstante, conforme se ha incrementado el uso y aplicación de este insumo, la demanda de mayor eficiencia, calidad, productividad y desempeño, también se ha vuelto una de las exigencias y requerimientos básicos para su utilización.

Enrique Santoyo, explica que: “para realizar una aplicación exitosa y asegurar la calidad en la aplicación de concreto lanzado sobre una superficie, es indispensable el estudio del sitio, trabajadores expertos, un método de lanzamiento adecuado y la maquinaria que corresponda con las especificaciones ideales del sitio. El concreto lanzado o proyectado sobre una superficie, únicamente se adhiere en rocas limpias, duras, libres de aceites, agua o materiales extraños. Su aplicación no funciona en rocas blandas y polvosas, por el consecuente desprendimiento de polvo.



Figura 3.7. Lanzado de concreto en taludes

De todo con todo “En Europa y en Oriente muchas estructuras se realizan con concreto lanzado. El concreto lanzado y aplanado o planchado logra la tersura y forma del concreto tradicional. Además, se alcanza la misma resistencia a un menor costo, pero con mayor eficiencia y, por ende, mayor productividad y rentabilidad del proceso constructivo. Esto significaría un cambio enorme para el país.”

“La aplicación del concreto lanzado en los túneles y taludes es una solución factible continua; es un gran cambio en la ingeniería, por ello queremos estimular su uso y aplicación en túneles y taludes ya que consideramos que es más económico que un concreto tradicional. Además de que, si se agregan fibras de acero al concreto lanzado se puede lograr una mejor capacidad estructural. Esto es normal en otros países. Hoy es posible generar muros y taludes con concreto lanzado.

“Asimismo, el concreto lanzado también puede ser utilizado en la diversas reparaciones de elementos estructurales, permitiendo su habilitación. En otros países, se están realizando varias intervenciones estructurales y el concreto lanzado ha sido la clave para su rehabilitación con eficiencia y calidad”.

Túneles y taludes “Los túneles y taludes son los dos grandes temas del concreto lanzado.

Los tiempos actuales y la reducción de los espacios exigen revolucionar a soluciones más eficientes, por ello, el especialista hace énfasis en que “se deben resolver con concreto lanzado los túneles y taludes. El revestimiento primario y secundario de túneles puede

realizarse con concreto lanzado. A decir de los expertos en ventilación, en los túneles largos deben existir condiciones para una buena ventilación. Por ello, uno de los problemas que se atribuye al concreto lanzado es que la rugosidad de las paredes no permite una ventilación óptima; sin embargo, la solución es el planchado o aplanado del concreto lanzado, hasta alcanzar una apariencia tersa como la de un concreto tradicional”, concluye el ing. Santoyo.

CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. CONCLUSIONES.

- El ángulo de fricción que se obtuvo de los 5 taludes estudiados el mayor fue de 36° por lo que se trata de rocas sedimentarias limolita con un estado de humedad seco.
- La permeabilidades obtenidas en el campo y procesadas en gabinete están en el rango de 1×10^{-5} y 1×10^{-6} (m/s) (ver tabla 4.2) se trata de un suelo semipermeable.
- Se concluye que una alternativa viable de contención de bloques en taludes rocosos como se encuentra el talud bajo estudio, ofreciendo seguridad al usuario al protegerse el talud considerado, la colocación de malla galvanizada será de Triple Torsión Calibre 12, escuadrilla de 80 mm x 100 mm aproximado de abertura, galvanizada.
- El talud sufre rompimiento por el clima ya que en el día se dilata y por la noche se contrae.
- Los taludes no son de rocas uniformes sino discontinuas con grietas por dónde escurre el agua y posteriormente sufrir los rompimientos.
- La cohesión en estos taludes rocosos debe ser mínima o nula lo cual queda demostrado con el corte directo y nuestro valor máximo es de $1,3 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$.
- Las densidades encontradas en la cabeza del talud varían entre $1,47$ y $2,24 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$ esto se debe a que es suelo fino que esta sobre la roca estos deben ser arrastrados por el viento y uniformados por la lluvia.
- Que la velocidad con que se mueve el agua en el talud es variable y depende del tamaño y orientación de los poros (porosidad eficaz).
- El agua infiltrada en el talud se acumula dentro de él aprovechando los poros de la matriz rocosa o los huecos de las discontinuidades tanto abiertas o llenas de material poroso.
- Los tipos de anclaje y la separación entre los mismos depende del tipo de material del talud que se desea estabilizar, los desprendimientos, hacia la parte baja lo cual es preferible, dejando el anclaje adecuado en la parte inferior para poder remover la malla, sacando el desprendimiento acumulado y volver a fijar la malla, pudiendo

fijar en la parte inferior o base de cable de acero o varillas a los anclajes haciendo esto desmontable para su mantenimiento.

- En los suelos no saturados la permeabilidad es función de la saturación.
- Los macizos rocosos con discontinuidades donde la relación entre la inclinación y el ángulo de fricción del talud tiene mayor relevancia, si no existe cohesión o sus valores son muy bajos.
- Los Factores de Seguridad en estado seco varían entre 1.046 - 1.510 por lo que se tratan de taludes estables.
- Los Factores de Seguridad en estado saturado varían entre 1.041 - 1.488 por lo que se tratan de taludes estables.
- De que también al analizar en estado seco y saturado se puede observar una disminución del factor de seguridad, se puede decir que a mayor saturación menor será el factor de seguridad.

4.2. RECOMENDACIONES.

- Es importante realizar un estudio detallado de cada emplazamiento y observar las características propias de cada lugar, para tomar una decisión correcta en la selección de la técnica a utilizar.
- Se deben realizar estudios detallados de suelos para de esta manera obtener la información necesaria para poder desarrollar correctamente el estudio.
- Se recomienda que los taludes 1,4y 5 por sus características se coloque malla para controlar las caídas de roca a la carretera.
- Los taludes 2 y 3 por tener bermas facilitará el acceso la utilización de concreto lanzado ya que el mismo se adhiere a las grietas de los taludes.
- Será necesario también desarrollar un estudio geológico general del área en relación al agua subterránea, identificación de los posibles puntos de descarga y recarga, ubicación de los estratos impermeables y características físicas de los acuíferos.
- Esto debe ir acompañado de un examen detallado del suelo para definir su estructura, porosidad y conductividad hidráulica, etapa que requerirá normalmente ensayos de laboratorio y pruebas de terreno.
- El movimiento de las aguas en los taludes por lo general, es irregular y complejo. El monitoreo es una parte esencial del estudio de taludes.