

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

En el mundo los procesos geológicos como el desprendimiento de rocas y deslizamientos de suelo, son los procesos más peligrosos que generan muertes y pérdidas económicas de millones de dólares, generalmente los desprendimientos afectan a zonas aisladas, aunque en ocasiones se puede producir el colapso de una masa importante, siendo muy peligrosos y produciendo grandes daños en la infraestructura.

La presencia de gran cantidad de material suelto (suelos finos arcillosos y rocosos), la cantidad de agua tanto escorrentía superficial como subterránea es el principal problema que afecta a la estabilidad de taludes; ya que esta es la causante directa de los deslizamientos de los taludes del lugar, la falta de un sistema de drenaje adecuado a las condiciones de la zona afecta directamente a la estructura de la carretera como también a la poca producción agrícola, donde los comunarios se dedican a la producción y comercialización de lana de ganado ovino (vicuñas, alpacas, llamas) que están en terrenos adyacentes a la carretera.

Por lo tanto, en el presente trabajo de estudio se pretende analizar varias alternativas de solución para la estabilización de taludes estratificados en el tramo carretero Chorcoya Méndez-Chorcoya Avilés, de manera que no afecte a la libre transitabilidad y exportación de ganado ovino y sus derivados que se encuentran en la zona.

Se conoce con el nombre genérico de talud cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las masas de tierras.

Cuando el talud se produce en forma natural, sin intervención humana, se denomina ladera natural o simplemente ladera, cuando los taludes son hechos por el hombre se denominan cortes o taludes artificiales, según sea la génesis de su formación; en el corte, se realiza una excavación en una formación térrea natural, en tanto que los taludes artificiales son los inclinados de los terraplenes.

También se producen taludes en los bordes de una excavación que se realice a partir del nivel del terreno natural, a los cuales se suele denominar taludes de la excavación.

No hay duda de que el talud constituye la estructura más compleja de las vías terrestres; por eso es preciso analizar la necesidad de definir criterios de estabilidad de taludes, entendiéndose por lo tanto a algo tan simple como el poder decir en un instante dado cuál será la inclinación apropiada en un corte o en un terraplén.

Para el diseño de las obras de control de la erosión en un talud debe realizarse un análisis muy completo de las condiciones geológicas, geotécnicas, hidrológicas y ambientales que permitan tener un conocimiento completo del comportamiento del talud después de construido.

En el caso de requerirse la estabilización por problemas de deslizamientos o erosión activos se debe analizar los mecanismos de falla y cuantificar el desequilibrio.

1.2. Justificación del proyecto de aplicación

El estudio actual nos permitirá reconocer y aplicar el tipo de propuesta de estabilización adecuado de talud que será como resultado del análisis de suelo y con el menor costo. Los deslizamientos o inestabilidad de taludes y todos los problemas y pérdidas que esto provoca, en su mayoría son evitables si el problema se identifica con tiempo y se toman medidas de prevención o control.

Es por esto que se realizara un análisis correcto que nos ayude a obtener un valor de estabilidad del talud en estudio, por lo que es necesario determinar los detalles geométricos del talud y las propiedades mecánicas de los suelos donde se localizará esta estructura, ya que también debemos establecer el tipo de mecanismo de falla que más se adecúe para la determinación de la estabilidad del talud.

Se busca proponer la mejor alternativa de solución desde el punto de vista ingenieril mejorando las condiciones actuales del lugar, mejorando la transitabilidad de la carretera. Con un talud estable se eliminará muchos de los problemas que actualmente se observa brindando seguridad y un buen servicio en el uso del tramo carretero, fomentando al desarrollo agrícola, ganadero (ovino) y turístico de las comunidades.

1.2.1. Justificación académica

Aplicar los conocimientos adquiridos en la estabilidad de taludes en Carreteras, de manera de interactuar el campo teórico con la aplicación práctica que con lleva el “estudio de alternativas de solución para estabilización de taludes estratificados aplicados al tramo Chorcoya Méndez – Chorcoya Avilés”, aportando, a futuros estudios o diseños en la universidad sobre temas relacionados.

1.2.2. Justificación social

Permitirá que la población pueda estar tranquilos y seguros al poder estabilizar la zona de deslizamiento producto de distintos factores, lo cual propondremos diferentes propuestas de estabilización, determinando una mejor alternativa de ser utilizada para los demás sectores que tengan similares características de suelo; ya que producto del clima que cada año produce lluvias fuertes poniendo en peligro de deslizamiento a la población y propiedades viéndose afectado por este suceso.

1.2.3. Justificación teórica

El propósito del estudio se basa en utilizar propuestas de estabilización de talud de acuerdo a la zona así reducir riesgos ocasionados por el deslizamiento del talud, puesto que por ahí pasa la carretera central y podría causar accidentes y paralización de vehículos causando una pérdida económica como también de seres humanos.

Se calculará el factor de seguridad con el software Slide 6.0, lo cual tiene como base la técnica de proporción límite (fuerza y momentos).

El sostenimiento de talud es importante y necesario en esta zona ya que nos ayudará a controlar el deslizamiento que se produce; según el estudio de suelo y la ubicación de la falla del talud que lo realizaremos con la ayuda del software Slide 6.0, propondremos algunos métodos de sostenimiento que pueda contribuir a la estabilización del talud.

1.2.4. Justificación Práctica

Nos permitirá ver y analizar el estado real de la zona, que sufre deslizamientos producto de distintos factores, lo cual nos permitirá dar diferentes propuestas de estabilización,

determinando la mejor alternativa a ser utilizada, para que los demás sectores que tengan similares características de suelo; puedan realizar el mismo tipo de estabilización ya que producto del clima que cada año produce lluvias fuertes están en constante peligro de deslizamiento afectando a la población y propiedades cercanas.

Los taludes vienen hacer estructura compleja de analizar debido a su geología realizando estudios de mecánica de suelo como también la mecánica de rocas, clima, orografía que hacen producir el deslizamiento, lo que en la actualidad es un desafío el lograr o diseñar el sostenimiento debido.

En nuestra investigación se desea analizar el talud, los métodos de estabilidad ante el peligro inminente de deslizamiento y para poder controlar ya que en el futuro puede ser más catastrófico, pudiendo causar pérdida de vidas humanas o accidentes, como también la destrucción de bienes materiales, por lo cual alcanzar la estabilidad del talud suele ser muy costoso.

En los últimos meses el tramo viene sufriendo deslizamiento de talud por las fallas que se genera o por causa del clima, así amenazando propiedades de los pobladores como también sus vidas a los que transitan por la zona, puesto que hubo un derrumbe de bastante cantidad de material en la zona.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

Actualmente la zona de estudio ubicado en el tramo carretero Chorcoya Méndez – Chorcoya Avilés se encuentra afectado continuamente por varios deslizamientos en los taludes naturales aledaños a la carretera.

La inestabilidad y estratificación de los distintos suelos y sus propiedades físico mecánicas ha ocasionado varios problemas porque perjudican el libre tránsito en la vía, daños en la estructura e incluso poniendo en riesgo la vida humana por accidentes vehiculares perjudicando a los diferentes usuarios de la vía, como comunarios, transportistas, agricultores, estudiantes y turistas, ocasionando pérdidas económicas ya

que se requiere de un continuo mantenimiento para el recojo de escombros, además de ser una zona dedicada a la actividad ganadera(ovina), turística y necesitan una vía libre de problemas para el transporte de sus productos.

1.3.2. Problema de investigación

¿Cuál es la mejor opción para la estabilidad de taludes estratificados aplicados para el tramo Chorcoya Méndez - Chorcoya Avilés con el programa Slide 6?0?

1.4. Objetivos del proyecto de aplicación

1.4.1. Objetivo general

Analizar la estabilidad de taludes estratificados del tramo Chorcoya Méndez a Chorcoya Avilés, considerando el uso del programa Slide 6.0; de tal manera, se pueda comprobar que el factor de seguridad esté cumpliendo su parámetro mínimo.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar las zonas de inestables de la carretera tramo Chorcoya Méndez - Chorcoya Avilés.
- Obtener mediante levantamiento topográfico las coordenadas para el diseño de taludes.
- Analizar las propiedades físico mecánicas de los estratos que actúan en la estabilidad de taludes.
- Realizar ensayos para determinar la granulometría y clasificación de los suelos en la zona.
- Verificar mediante ensayos de compresión simple la resistencia de los estratos rocosos.
- Analizar con el programa Slide 6.0 la estabilidad de taludes en la zona afectada y poder determinar el factor de seguridad.
- Plantear alternativas de solución, factibles y económicas para poder controlar los deslizamientos que se tienen en la zona en estudio.

- Establecer conclusiones y recomendaciones en base a los resultados obtenidos en el estrato.

1.5. Hipótesis

El factor de seguridad actual promedio cumple el parámetro mínimo de especificación.

1.6. Identificación de las variables

1.6.1. Variables independientes

No es posible identificar por no haber sido manipulada.

1.6.2. Variables dependientes

Y = El factor de seguridad promedio del tramo Chorcoya Méndez a Chorcoya Avilés.

1.6.3. Determinación de la confiabilidad

Se procede a determinar el muestreo aleatorio para medidas poblacionales para lo cual adoptamos:

Confiabilidad = entre un rango de 95 % a 100%.

1.7. Alcance del estudio de aplicación

El alcance de la investigación tiene un diseño no experimental del tipo descriptivo, ya que solo se pretende encontrar en nivel de severidad traducido al factor de seguridad promedio de los taludes en el tramo Chorcoya Méndez a Chorcoya Avilés.

El presente estudio se enfoca en determinar para un caso de deslizamiento del talud, las opciones aplicables de estabilización. Las diferentes alternativas de solución presentadas deberán responder satisfactoriamente a todas las necesidades de solución a la estabilidad de taludes.

Para la realización del presente estudio, se detallará la descripción general del proyecto, planteando la problemática actual de la zona y la importancia que tiene a ser atendida; se estudiará conceptos generales sobre la estabilidad de taludes, causas y fallas que

puedan activar deslizamientos de tierra, además de realizar un estudio a los diferentes métodos para el cálculo de los mismos.

Se detallará las diferentes alternativas para la estabilización de taludes, estructuras de contención y recubrimiento de la superficie del talud.

Se procederá a la recopilación de toda la información necesaria para el desarrollo del proyecto y el análisis de las alternativas de solución más convenientes para la estabilidad de taludes; esto implica desde la topografía para conocer las condiciones de diseño y características propias de la carretera, estudio de suelos necesario para determinar las características geotécnicas del lugar de proyecto para poder dar una solución a la estabilidad de taludes, se realizará un estudio hidrológico e hidráulico, desde precipitaciones, caudales de diseño, y diseño hidráulico de obras de control para poder diseñar un sistema de drenaje que se adecue a las condiciones actuales del lugar de proyecto brindando eficiencia y rapidez.

Se deberá realizar el análisis de precios unitarios, cómputos métricos para obtener el costos y presupuestos del análisis a los taludes determinando el volumen de cada uno de ellos, aplicando mediante el programa Slide 6.0 y las alternativas que proponga el costo final con precios actuales que determinen cada uno de los taludes a estudiar y de acuerdo a esto hacer un análisis y terminar cual es la mejor solución para la construcción de las alternativas.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

El estudio de la estabilidad de los taludes, tiene una importancia enorme a los fines ingeniero geológico. Como cuando se lleva a cabo el levantamiento ingenieril de una región, es necesario marcar las zonas de posibles deslizamientos y calcular la estabilidad de los taludes naturales.

A la hora de estudiar estos fenómenos es necesario tener en cuenta que los taludes aparentemente estables, pueden tornarse inestables en condiciones de saturación bajo los efectos del movimiento de suelos y nuevas condiciones de estabilidad. por esta razón, sin estudiarlo, no es posible determinar con seguridad si un talud será estable.

2.1.1. Talud

Talud es una superficie inclinada en relación de la superficie horizontal que las estructuras de tierra adopten permanentemente. (Matteis, 2009).

Es la inclinación de un terreno, que se cae. Puede ser terraplén, excavación; Una superficie de terreno presentada ubicada a un ángulo. (Braja, 2013).

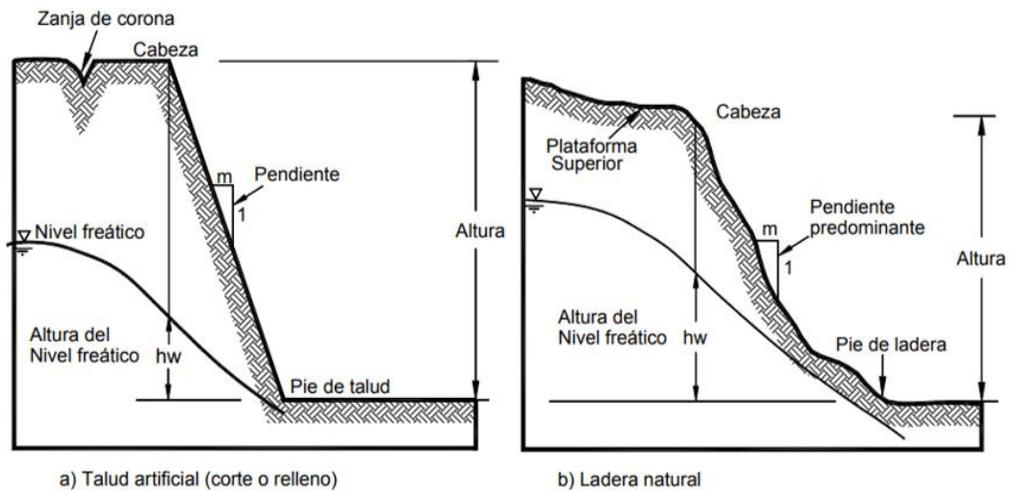
En la literatura técnica se define como Ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y Talud cuando se conformó artificialmente (Figura 2.1). Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención.

Se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas. Las laderas o taludes que han permanecido estables por muchos años, pueden fallar debido a cambios topográficos, sísmicos, a los flujos de agua subterránea, a los cambios en la resistencia del suelo, la meteorización o a factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad. Un talud estable puede convertirse en un deslizamiento.

2.1.1.1. Partes generales de un talud

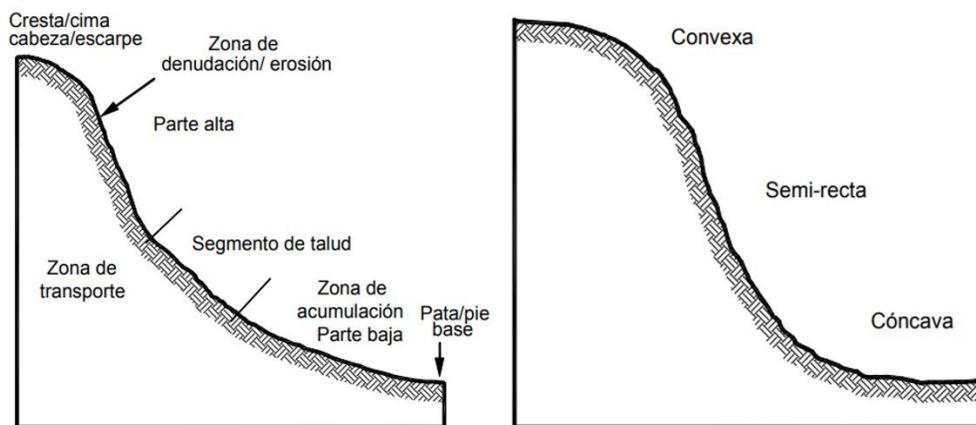
Existen algunos términos para definir las partes de un talud. El talud comprende una parte alta o superior convexa con una cabeza, cima, cresta o escarpe, donde se presentan procesos de denudación o erosión; una parte intermedia semirecta y una parte baja o inferior cóncava con un pie, pata o base, en la cual ocurren principalmente procesos de deposición (Figura 2.2).

Figura 2.1. Nomenclatura de taludes y laderas



Fuente: www.erosion.com.co

Figura 2.2. Partes generales de un talud



Fuente: Fuente: www.erosion.com.co

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

Pie, pata o base

El pie corresponde al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte inferior del talud o ladera. La forma del pie de una ladera es generalmente cóncava.

Cabeza, cresta, cima o escarpe

Cabeza se refiere al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte superior del talud o ladera. Cuando la pendiente de este punto hacia abajo es semi- vertical o de alta pendiente, se le denomina escarpe. La forma de la cabeza generalmente es convexa.

Altura

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

Altura de nivel freático

Es la distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua (la presión en el agua es igual a la presión atmosférica). La altura del nivel freático se acostumbra medirla debajo de la cabeza del talud.

Pendiente

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

2.2. Estabilidad de los taludes

2.2.1. Prueba de permanencia de taludes

Es la inclinación de diseño en el terreno lateral de la pista, así como en zonas de corte o en terraplenes. Dicha inclinación es la tangente del ángulo hecho por el plano de la superficie del terreno y la línea teórica horizontal. (DG - 2014, Pág. 222)

2.2.1.1. Resistencia cortante del suelo.

Es considerada como la oposición interna por el área unitaria que la masa de suelo ofrece para oponer resistencia por la falla de corte y la traslación a lo largo de cualquier superficie dentro de él.

Los profesionales deben de percibir la naturaleza de la oposición cortante para estudiar los problemas de la permanencia de suelo, tales como el tonelaje de carga, permanencia de taludes y la presión lateral sobre distribuciones de conservación de tierras. (Braja, 2013).

2.2.2. Los deslizamientos

Son desplazamientos de masas de tierra o rocas (o ambos), por una pendiente abajo en forma súbita o lenta, el deslizamiento o derrumbe, es un fenómeno de la naturaleza que se define como “el movimiento pendiente abajo, lento o súbito de una ladera, formado por materiales naturales – roca – suelo, vegetación o bien de rellenos artificiales”. Los deslizamientos o derrumbes se presentan sobre todo en la época lluviosa.

Las traslaciones se dan de formas distintas, es decir en forma tardía o veloz, con o son de desafío aparente, etc. Corrientemente se producen como consecuencia de excavaciones o socavaciones en el pie del talud. Sin embargo, existen otros casos donde la falla se produce por desintegración gradual de la estructura del suelo, aumento de las presiones intersticiales debido a filtraciones de agua, etc. (Mateiis, 2009).

Los deslizamientos ocurren por lluvias torrenciales, por la erosión de los suelos y por los temblores de tierra, pudiendo producirse también en zonas cubiertas por grandes cantidades de nieve y actividad humana. Depende de las siguientes variables:

Clase de rocas y suelos;

Topografía (lugares montañosos con pendientes fuertes);

Cantidad de lluvia en el área; actividad sísmica de la zona;

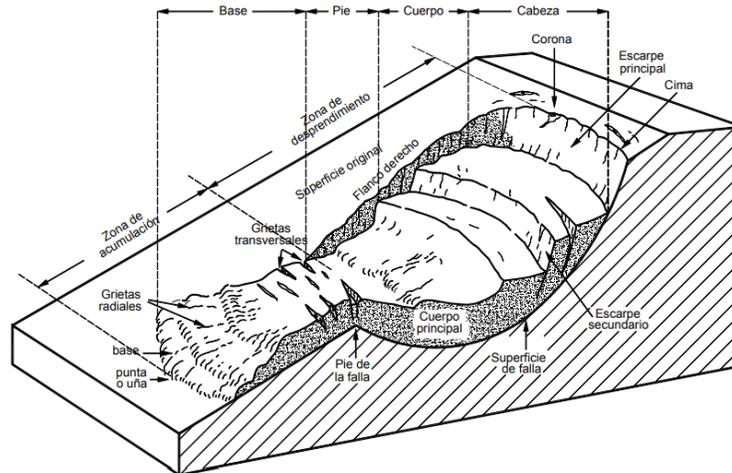
Actividad humana (cortes en ladera, falta de canalización de aguas, etc.);

Erosión (por actividad humana y de la naturaleza).

2.2.2.1. Partes de un deslizamiento

En la figura 2.3, se muestra un deslizamiento típico o desplazamiento en masa.

Figura 2.3. Partes de un deslizamiento.



Fuente: Deslizamientos, técnicas de remediación

Cabeza

Parte superior de la masa de material que se mueve. La cabeza del deslizamiento no corresponde necesariamente a la cabeza del talud. Arriba de la cabeza está la corona.

Cima

El punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

Corona

El material que se encuentra en el sitio, (prácticamente inalterado), adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.

Escarpe principal

Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de la falla.

Escarpe secundario

Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve, en un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios.

2.2.3. Superficie de falla

Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de esta, se desplaza. En algunos movimientos no hay superficie de falla.

Pie de la superficie de falla

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

Base

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

Punta o uña.

El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

2.2.4. Cuerpo principal del deslizamiento

El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.

Superficie original del terreno

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

Derecha e izquierda

Para describir un deslizamiento se recomienda utilizar la orientación geográfica (Norte, Sur, Este, Oeste); pero si se emplean las palabras derecha e izquierda, deben referirse al deslizamiento observado desde la corona hacia el pie.

2.2.5. Inclinación de pendiente

La inclinación del talud estriba, especialmente del tipo de material con que esté formado y el estado del mismo. A esta medida se le conoce como ángulo β .

2.2.5.1. Topografía:

(¿Qué es la topografía?, 2017 pág. 5). La Topografía es la técnica en que describe en forma física la superficie de la tierra, describe sus accidentes y características.

Asimismo, instaure varios tecnologías y procedimientos para realizar estas descripciones, como objetivo pasar a la hoja.

Levantamiento topografía:

(Levantamientos topografía, 1987 pág. 10). El diseño topografía radica en la preparación de planos o mapas planimétricos, topográficos y secciones transversales. En la generalidad de ellos se ponen algunas medidas, es de acuerdo a la precisión con lo que los puntos y líneas se han dibujado en el papel.

Asimismo, se definen las particularidades por curvas de nivel lo cual representan los desniveles entre lo uno y otro plano, respetando el rango de estas.

2.2.6. Clima

El clima puede causar variaciones en las propiedades físicas del suelo que propicien que una ladera pierda su estabilidad y que entonces pueda moverse. Por un sismo o, incluso, por el mismo clima cuando ocurre un fenómeno extremo como es el caso de una lluvia intensa.

2.2.7. Parámetros hidráulicos

(Vilcahuamán Brenis, 2015 pág. 21). son esenciales a la hora de causar la grieta de un talud que causará un flujo de escombros por la presencia de agua y una alta presión de poros. La licuefacción del suelo pasa cuando la presión de poros es real (expansión del volumen). Esta presión de poros sucede por infiltración del agua en el talud, lo cual puede suceder por dos dispositivos: infiltración directa por las capas superficiales o por

efectos del flujo de agua subterránea. Si el suelo en la parte del talud posee una filtración menor que la tierra en la parte superior, puede suceder un aniego de agua.

2.2.8. Suelo

(Introducción a la ciencia del suelo, 2012 pág. 13). El suelo es un área donde situara sus estructuras que le brindara los materiales que demanda para prepararlos.

2.2.8.1. Mecánica de Suelos

(Terzaghi, 2016). Es el uso de las leyes de la mecánica y la hidráulica en los problemas en ingeniería que muestran con sedimentos y otros acopios por la disgregación mecánica o la desintegración química de las rocas, Independiente a que contenga materia orgánica o no.

Granulometría

La granulometría es una propiedad que presenta los suelos para describir y detallar a cada uno de ellos, con el objetivo para describir su trabajabilidad, comportamiento y constitución al momento de ejecutar con fines constructivos. Es la colocación de los volúmenes de las partículas de un agregado el cual se establece por prueba de tamices. Norma ASTM C 136 (s.f)

(Bravo Guzmán y García Luna 2012). La granulometría por cernido es un procedimiento minucioso mecánico en donde se apartan las partículas de una superficie en sus diferentes tamaños, denominado a la fracción menor (Tamiz N° 200) como limo, arcilla. Se utiliza tamices en orden decreciente. La cantidad de suelo retenido muestra el volumen del prototipo, esto solo aparta una parte de suelo entre dos volúmenes. La prueba granulométrica por cernido se ejecuta a las partículas con diámetros mayores a 0,075 mm. (Malla 200), esta prueba se realiza con redes reguladas (a cada número de red le incumbe una grieta estándar), preparados en disposición descendente.

(Bravo Guzmán y García Luna 2012). La prueba granulométrica se usa de forma frecuente para poder interpretar el comportamiento de los suelos, este es frecuente para la caracterización y determinación de la materia prima geológica en la ingeniería.

Índice de plasticidad:

(Crespo Villalaz, 2004 pág. 36). Es la propiedad de modificarse sin resquebrajar por el esfuerzo mecánico quedando deformado luego de retirar la carga. Esto en arcillas principalmente de acuerdo al contenido del agua, puesto que al estar con abundancia de agua se apartan las láminas y no es plástica al estar seca, lo cual se deshace.

Cohesión:

(Crespo Villalaz, 2004 pág. 41). Las partículas del suelo se conservan fusionadas en virtud a fuerzas internas, según al número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas. Como resultado, la atracción es alta cuando las partículas del terreno son finas.

Tabla 1. Valores de cohesión por tipo de suelo

Cohesión (Kpa)	
Arcilla rígida	20 - 25
Arcilla semirrígida	8 - 12
Arcilla blanda	0 - 4
Arcilla arenosa	2 - 8
Limo rígido o duro	0 - 5

Fuente: Elaboración propia

Ángulo de fricción:

(Crespo Villalaz, 2004 pág. 45). Es la oposición al deslizamiento originado por el roce que existe entre las zonas de unión de las partículas y su densidad. Como los suelos granulares poseen superficie de relación mayores, fundamentalmente son oblicuas. En una superficie y la fuerza normal aplicada en la superficie.

Hough (1957) propone usar los valores menores de cada categoría redondeados o los que tienen partículas débiles y valores altos para suelos de partículas ángulosas y resistentes.

Tabla 2. Servicios del ángulo de roce interior en suelos granulares no plásticos, en función de la granulometría y la compacidad.

Tipo Suelo	Ángulo de fricción interna en función de la densidad inicial (°)		
	Suelto	Medianamente denso	Compacto
Limo no plástico	24 - 28	28 - 32	30 - 34
Arena igual fina a media	26 - 30	30 - 34	32 - 36
Arena Bien graduada	30 - 34	34 - 40	38 - 46
Montón de arena y grava	32 - 36	36 - 42	40 - 48
Grava	36 - 40	38 - 42	42 - 50

Fuente: Elaboración Propia

Peso específico:

(Crespo Villalaz, 2004 pág.49). Es una propiedad índice que debe formar a los suelos, que es el precio que actúa en los cálculos afines en la mecánica de suelos, en forma referente con los diferentes valores encontrados en el laboratorio.

2.3. Clasificación de los movimientos de masa

2.3.1. Caído

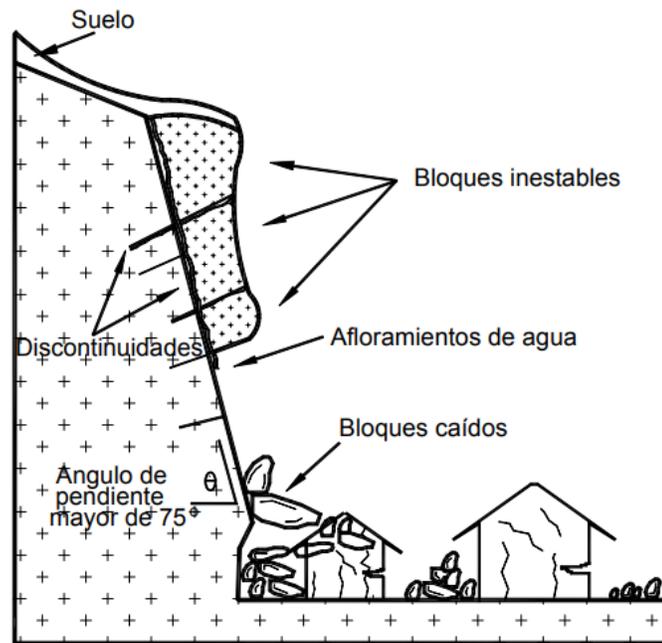
Caído es el desprendimiento y caída de materiales del talud. En los caídos se desprende una masa de cualquier tamaño desde un talud de pendiente fuerte a lo largo de una superficie en la cual el desplazamiento de corte es mínimo o no se da.

Los caídos pueden incluir desde suelo y partículas relativamente pequeñas, hasta bloques de varios metros cúbicos.

Son movimientos en caída libre de distintos materiales tales como rocas, detritos o suelos. Este tipo de movimiento se origina por el desprendimiento del material de una superficie inclinada, el cual puede rebotar, rodar, deslizarse o fluir ladera abajo. Ocurre en forma rápida sin dar tiempo a eludirlas.

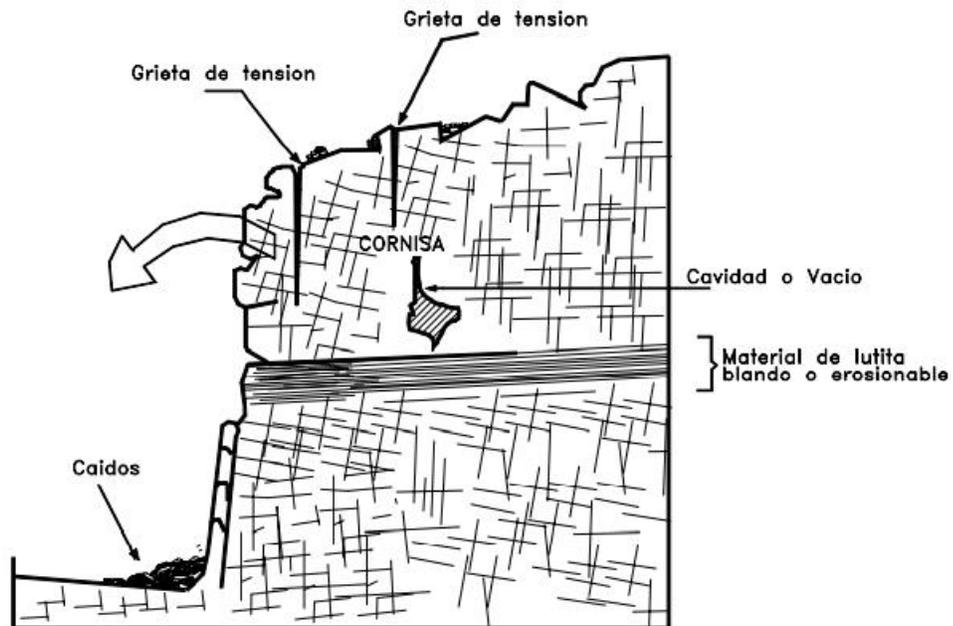
También se puede decir que caída es cuando una masa de suelo se desprende de una pendiente, que desciende a través de aire, por caída libre, a saltos, rodando

Figura 2.4. Caídos de bloques en caída libre de roca fracturada



Fuente: Deslizamientos, análisis geotécnico

Figura 2.5. Algunos mecanismos de formación de caídos



Fuente: Deslizamientos, análisis geotécnico

2.3.2. Inclinación o volcamiento

Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad.

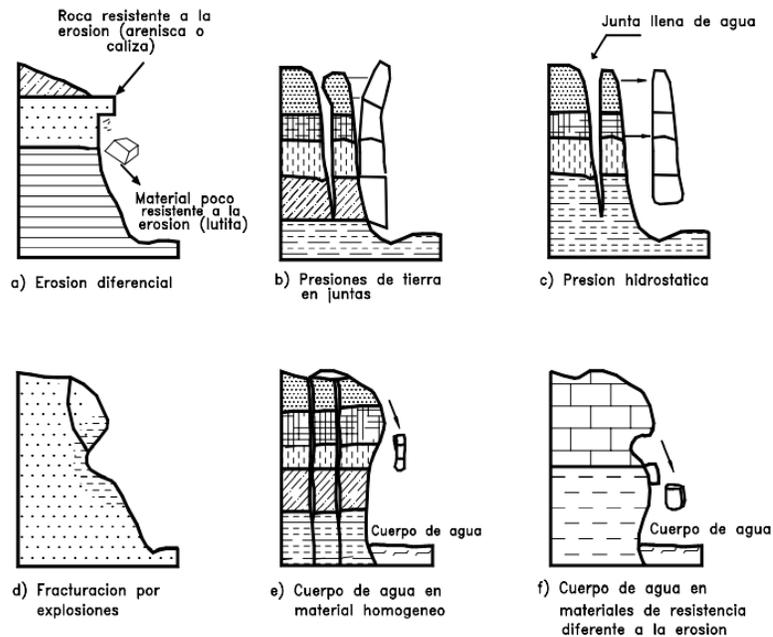
Generalmente, los volcamientos ocurren en las formaciones rocosas, pero también, se presentan en suelos cohesivos secos y en suelos residuales. Rotación hacia adelante con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la masa. Se pueden diferenciar tres tipos de volcamiento:

Volcamiento a flexión. Columnas continuas se rompen y separan unas de otras en flexión a medida que se inclinan hacia adelante.

Volcamiento en V invertida. Consiste en la inclinación múltiple de una serie de bloques con centro de giro en la superficie inferior del sistema de volcamiento, el cual puede convertirse en una superficie de falla.

Flexión en bloque. Flexión continua de columnas largas a través de desplazamientos acumulados a lo largo de las numerosas juntas.

Figura 2.6. Procesos que conducen al volcamiento o inclinación

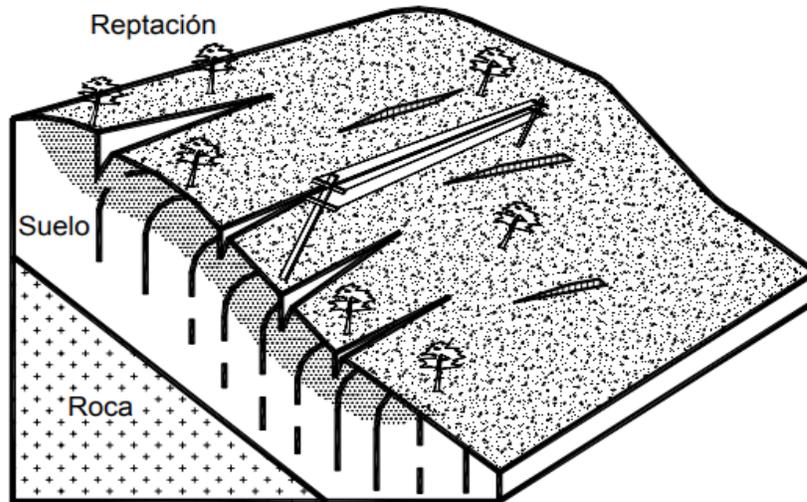


Fuente: Deslizamientos, análisis geotécnico

2.3.3. Reptación (Creep)

La reptación o Creep consiste en movimientos del suelo sub-superficial desde muy lentos a extremadamente lentos sin una superficie definida de falla. La profundidad del movimiento puede ser desde pocos centímetros hasta varios metros.

Figura 2.7. Reptación



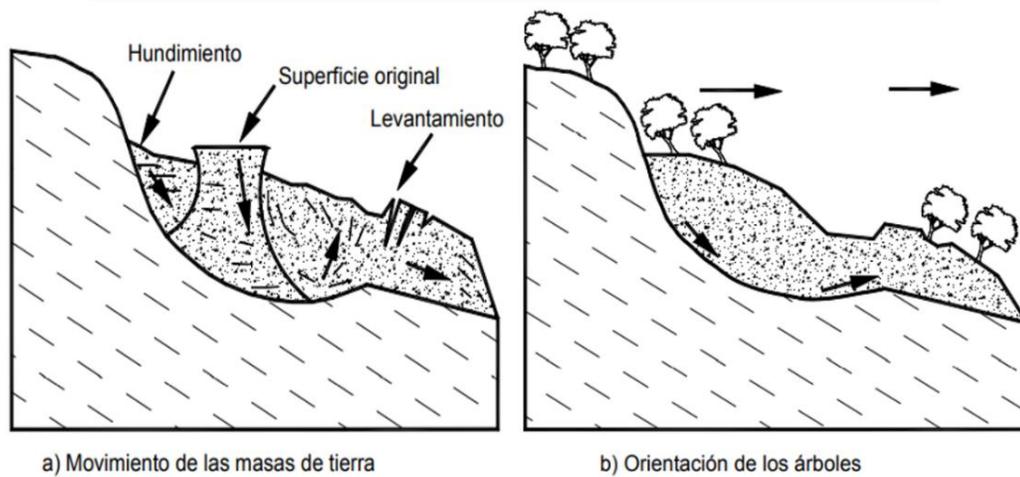
Fuente: Deslizamientos, análisis geotécnico

Generalmente, el desplazamiento horizontal es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno (Figura 2.7). La reptación puede preceder a movimientos más rápidos como los flujos o deslizamientos traslacionales. La reptación comúnmente ocurre en las laderas con pendiente baja a media. Se les atribuye a las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en los suelos, usualmente arcillosos, muy blandos o alterados, con características expansivas.

2.3.4. Deslizamiento rotacional

En un desplazamiento rotacional, la superficie de falla es cóncava hacia arriba y el movimiento es rotacional con respecto al eje paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento. El centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento.

Figura 2.8. Deslizamiento rotacional

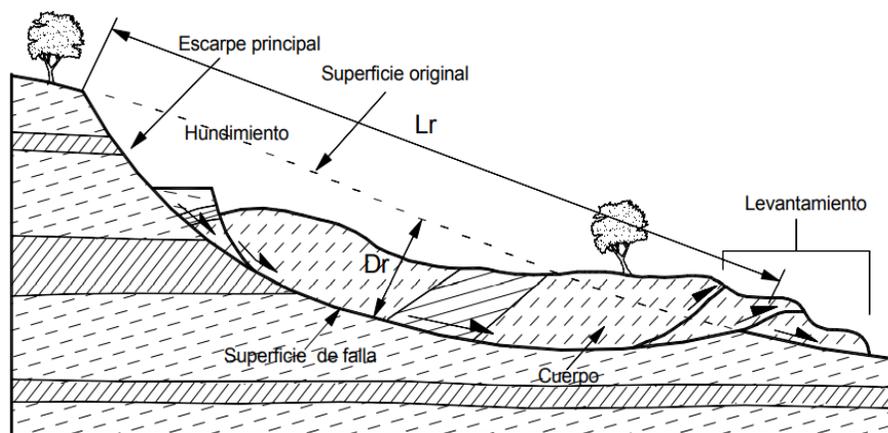


Fuente: Deslizamientos, análisis geotécnico

Visto en planta, el deslizamiento de rotación posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento.

El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento, lo cual genera, comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento (Figura 2.8).

Figura 2.9. Desplazamiento de rotación en una ladera



Fuente: Deslizamientos, análisis geotécnico

La cabeza del movimiento bascula hacia atrás y los árboles se inclinan, de forma diferente, en la cabeza y el pie del deslizamiento.

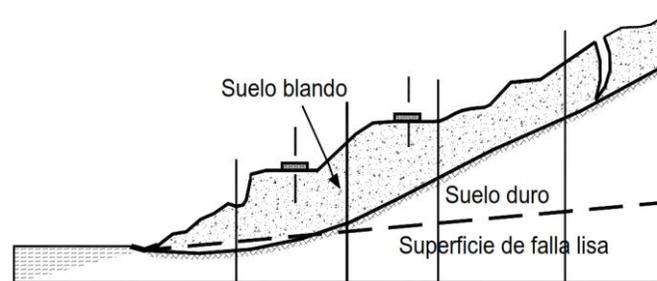
Movimiento de corte a lo largo de una superficie de falla curva. Centro de giro por encima de la masa del centroide de masa de suelo.

2.3.5. Deslizamiento de traslación

En el desplazamiento de traslación la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (Figura 2.10).

Los movimientos traslacionales generalmente, tienen una relación D_r / L_r de menos de 0.1. En muchos desplazamientos de traslación, la masa se deforma y/o se rompe y puede convertirse en flujo, especialmente en las zonas de pendiente fuerte.

Figura 2.10. Deslizamiento de traslación

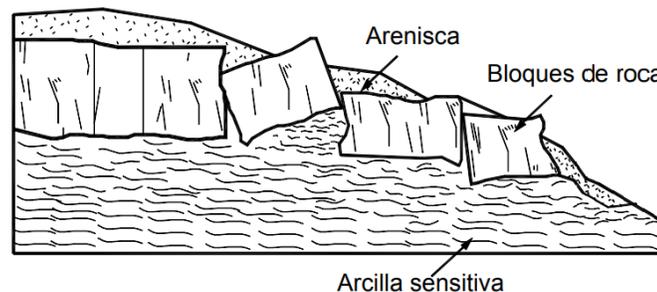


Fuente: Deslizamientos, análisis geotécnico

2.3.6. Extensión lateral

Se denomina extensión o esparcimiento lateral a los movimientos con componentes, principalmente laterales, en taludes de baja pendiente.

Figura 2.11. Extensión lateral sobre una masa plástica



Fuente: Deslizamientos, análisis geotécnico

En los esparcimientos laterales el modo del movimiento dominante, es la extensión lateral acomodada por fracturas de corte y tensión (sobre roca o sobre suelos plásticos). Las extensiones laterales ocurren comúnmente en las masas de roca, sobre suelos plásticos o finos, tales como arcillas y limos sensitivos que pierden gran parte de su resistencia al remodelarse.

2.3.7. Fallas ligadas a la estabilidad de taludes

Se agrupan en esa división las fallas que ocurren típicamente en laderas naturales, aun cuando de un modo u otro pudieran presentarse de manera ocasional en taludes artificiales.

La inclinación de este talud tiene que ser suficientemente suave y/o su altura suficientemente pequeña para que se estable .la inclinación del talud una vez que ha cesado el vertido talud máximo para el cual el material estable se denomina Ángulo de reposo. El talud tendrá una inclinación media aproximadamente igual al ángulo de reposo que tendría si el material se vertiera directamente.

2.3.7.1. Deslizamiento superficial asociado a falta de resistencia por baja presión de confinamiento (Creep)

Se refiere esta falla al proceso más o menos continuo y por lo general lento de deslizamiento ladera abajo que se presenta en la zona superficial de algunas laderas naturales. En aras de la economía del lenguaje se utilizará en lo que sigue la palabra inglesa “Creep” para referirse a ella, si bien eventualmente se podrá usar la expresión “deslizamiento superficial”.

El Creep suele afectar a grandes áreas y el movimiento superficial se produce sin una transición brusca entre la parte superficial móvil y las masas inmóviles más profundas.

Todos estos signos exteriores a localizar crepes al ingeniero experimentado que los busque con acuciosidad, pero el auxilio más importante en este aspecto proviene, una vez más, del uso sistemático y cuidadoso de los pares de aerofotografías y de su fotointerpretación.

Localizado el Creep, no se debe vacilar en cambiar el trazo de la vía terrestre, evitando sus problemas, pues no existe por el momento, ya se dijo, ningún remedio confiable contra este tipo de falla. De no evitarse el problema, los cortes y terraplenes de la vía terrestre estarán en continuo movimiento, con todos los inconvenientes de capacidad de servicio y conservación y con el riesgo, siempre inminente, de se produzcan fallas de todo tipo, originadas por el propio deslizamiento superficial.

2.3.7.2. Fallas asociadas a procesos de deformación acumulativa

Generalmente relacionada con perfiles geológicos desfavorables. Se refiere este título al tipo de fallas que se producen en las laderas naturales como consecuencia de procesos de deformación acumulativa, por la tendencia de grandes masas a moverse ladera abajo. Este tipo de fallas quizá es típico de laderas naturales en depósitos de talud o en otras formaciones análogas en cuanto a génesis geológica, formada por materiales bastante heterogéneos, no consolidada y bajo la acción casi exclusiva de las fuerzas gravitacionales.

Dado el largo tiempo que tales esfuerzos gravitacionales actúan en los materiales del interior de la ladera, la resistencia al esfuerzo cortante podrá degradarse por procesos de deformación acumulativa y en ciertas zonas dentro de la ladera se desarrollarán estados de Creep profundo, en el sentido utilizado por Goldstein y Ter-Stepanian. Según estos autores, se desarrollan estados de deformación continua muy lenta en aquellas zonas del interior de la ladera en que existan concentraciones locales de esfuerzos cortantes.

En tales condiciones, la ladera puede deformarse durante largo tiempo, hasta que, eventualmente, tal acumulación de deformación produzca la ruptura del suelo y la formación de una superficie de falla generalizada en el interior de la propia ladera.

Una vez producida la superficie de falla podrá ocurrir un deslizamiento rápido de las masas afectadas, o la tierra sobre la superficie de falla podrá permanecer en su posición, desde luego en un estado no muy alejado del equilibrio límite o crítico. Ello dependerá, primordialmente, de la inclinación de la superficie de falla formada y, en menor grado,

de las restricciones que creen al deslizamiento las heterogeneidades e irregularidades de forma y materiales que puedan existir a lo largo de la superficie de falla.

La superficie de falla típica de un proceso de deformación acumulativa es de forma casi plana. A ello pueden contribuir varios factores, de los que el primero y más importante quizá se la geología de la zona, pues en una ladera natural las estratificaciones tienden a seguir la forma de la frontera exterior de la ladera. Además, los procesos de deformación lenta anteriores a la falla estimulan más bien la generación de mecanismos de resistencia del tipo friccionante puro, lo que también contribuirá a la generación de planos de deslizamientos. Si la inclinación del plano es superior al ángulo de fricción que pueda atribuirse a la masa deslizante respecto a las masas fijas, que será algún valor en el orden del ángulo de resistencia residual del suelo.

La masa deslizará, pero si la inclinación de la superficie de falla es de orden del ángulo de resistencia residual (o algo mayor, contando con las restricciones locales al deslizamiento que se desarrollen en la propia superficie de falla), la masa “desprendida” podrá permanecer en su posición o moverse muy lentamente ladera abajo a lo largo de la línea de ruptura.

La inclinación media de la superficie de falla es de unos 15° , siendo quizá 13° el valor que se pueda atribuir al ángulo de resistencia residual de los depósitos de talud. El nivel freático y en general la presencia de agua en los materiales en la proximidad de la superficie de falla desempeñan un papel fundamental en la estabilidad y, de hecho, hacen algo más complejo en mecanismo que se ha descrito para la generación de fallas.

2.3.7.3. Falla por deslizamiento superficial

Cualquier talud está sujeto a fuerzas naturales que tienden a hacer que las partículas y porciones del suelo próximas a su frontera deslicen hacia abajo; el fenómeno es más intenso cerca de la superficie inclinada del talud a causa de la falta de presión normal confinante que allí existe.

El fenómeno se pone de manifiesto a los ojos del ingeniero por una serie de efectos notables, tales como inclinación de los árboles, por efecto del arrastre producido por

las capas superiores del terreno en que enraízan, movimientos relativos y rupturas de bardas, muros etc.; acumulación de suelos en las depresiones y valles y falta de los mismos en las zonas altas.

2.3.7.4. Deslizamiento en laderas naturales sobre superficies de falla preexistentes

En muchas laderas naturales se encuentra en movimiento hacia abajo una costa importante del material; producido por un proceso de deformación bajo esfuerzo cortante en partes más profundas, que llega muchas veces a producir una verdadera superficie de falla. Estos movimientos, a veces son tan lentos que pasan inadvertidos.

2.3.7.5. Falla por movimiento del cuerpo del talud

En contraste con los movimientos superficiales lentos, pueden ocurrir en los taludes movimientos bruscos que afectan a masas considerables de suelo, con superficies de falla que penetran profundamente en su cuerpo. Estos fenómenos reciben comúnmente de deslizamiento de tierras.

Dentro de estos existen dos tipos claramente diferenciados. En primer lugar, un caso en el cual se define una superficie de falla curva, a lo largo de la cual ocurre el movimiento del talud; estas son las fallas llamadas por rotación. En segundo lugar, se tienen las fallas que ocurren a lo largo de superficies débiles, asimilables a un plano en el cuerpo de talud o en su terreno de cimentación. Las fallas por rotación pueden presentarse pasando la superficie de falla por el pie del talud.

2.3.8. Falla por flujos

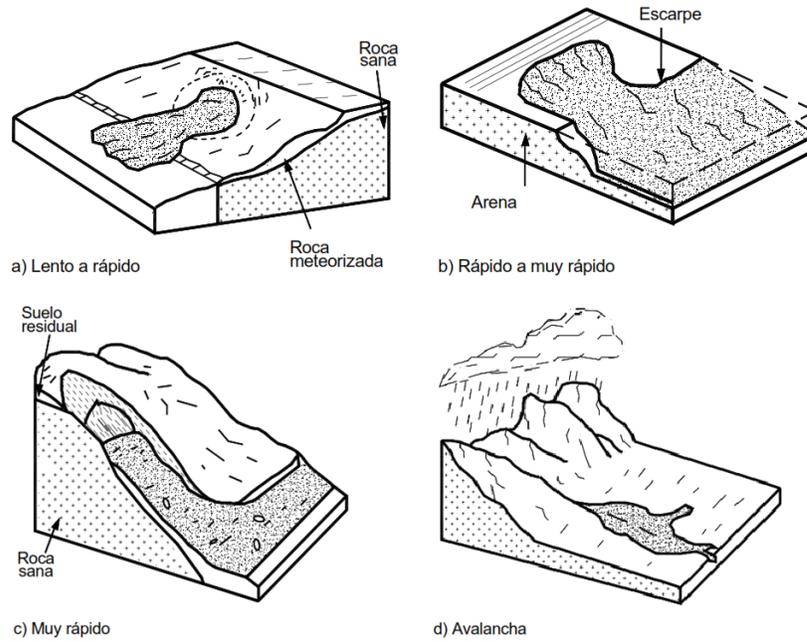
Corresponde a movimientos relativamente rápidos de una parte del talud, de forma que esos movimientos y las velocidades en las que ocurren, corresponden al comportamiento que presentaría un líquido viscoso.

No se distingue una superficie de deslizamiento debido a que esta se presenta en un periodo breve de tiempo.

Esta falla se presenta con mayor frecuencia en taludes naturales formados por materiales no “consolidados” y se desarrolla el mecanismo cuando hay un aumento

apreciable en el contenido de agua. Existen tres tipos de flujo: de roca, de residuos (detritos), de suelo y de lodo.

Figura 2.12. Flujo de diferentes velocidades



Fuente: Deslizamientos, análisis geotécnico

2.3.8.1. Fallas por licuación

El fenómeno de licuación se presenta cuando se provoca una reducción rápida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo. Esta pérdida conduce al colapso del suelo en que se presenta y con ello al de la estructura que se encuentre sobre este.

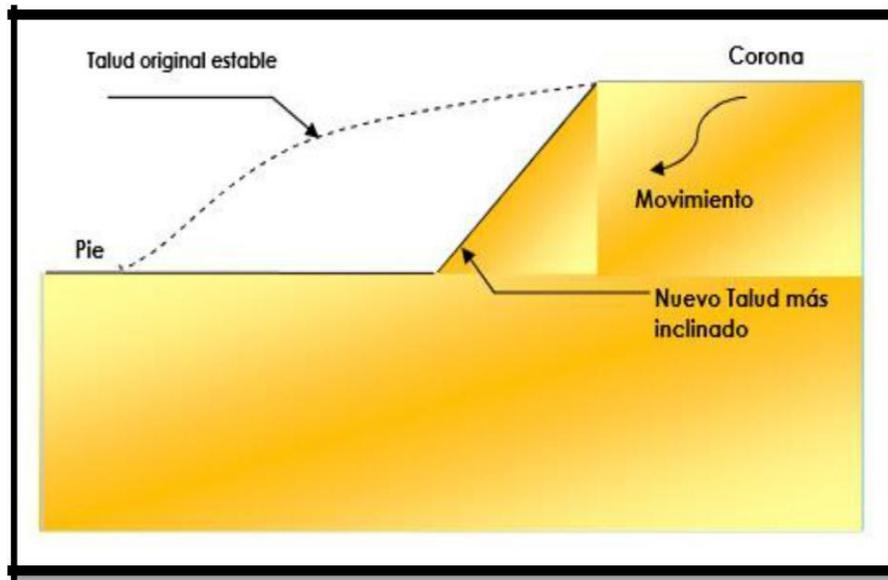
La licuación se ha presentado con mayor frecuencia en arenas finas, sumergidas sometidas a un incremento en la presión de poro por efecto de vibraciones o sismo alcanzando su gradiente crítico, lo que desencadena el fenómeno.

2.3.8.2. Fallas por erosión

Estas son también fallas del tipo superficial provocadas por arrastre del viento, agua etc., en los taludes. Este fenómeno se hace más notorio, entre más empinadas sean las laderas de los taludes. Una manifestación típica de este fenómeno suele ser la aparición de irregularidades en el talud, originalmente uniforme. Desde el punto de vista teórico,

esta falla puede ser imposible de cuantificar, detalladamente, pero la experiencia ha proporcionado normas que atenúan gradualmente si se les aplica con cuidado.

Figura 2.13. Variación de la geometría de un talud por erosión



Fuente: www.revistaseguridadadminera.com/fallas

El agua y el viento continuamente afectan a los taludes erosionándolos. La erosión modifica la geometría del talud y por tanto los esfuerzos a los que está sometido, resultando un talud diferente al inicialmente analizado o en una modificación de las condiciones que tenía, (figura 2.13).

2.3.9. Fallas por agrietamiento

En ese caso se estudian los efectos de las grietas sobre las propiedades mecánicas e hidráulicas de suelo, sin que el interés principal sea explorar solo las causas de tales agrietamientos.

Dentro de este enfoque general se pueden distinguir dos tipos de estudios: aquellos que tienen que ver directamente con la alteración de las propiedades hidromecánicas, tales como la resistencia al corte, la permeabilidad y la deformabilidad.

La mayoría de los suelos poseen muy baja resistencia a la tensión y la generación de esfuerzos relativamente pequeños, (especialmente arriba de la cabeza de los taludes y

laderas), puede producir grietas de tensión, las cuales facilitan la infiltración de agua y debilitan la estructura de la masa de suelo permitiendo la formación de superficies de falla.

Las fallas de los taludes con mucha frecuencia son precedidas por el desarrollo de grietas cerca de la cabeza del talud. Estas grietas son posibles solamente en los suelos que tienen alguna resistencia a la tensión.

Debe tenerse en cuenta que una vez aparece la grieta, la totalidad de la resistencia en el plano de la grieta se pierde.

2.4. Metodología para el cálculo de talud

2.4.1. Métodos de equilibrio límite

Los métodos de equilibrio límite para el cálculo de estabilidad de taludes son los más utilizados en la práctica común, debido a su sencillez, y porque el valor del coeficiente de seguridad obtenido no dista demasiado del valor real.

El método del equilibrio límite establece que la rotura del terreno se produce a través de una línea que representa la superficie de rotura. De esta forma, se interpreta que la masa de terreno por encima de dicha línea se desplaza respecto la masa inferior, produciéndose, así, la rotura del terreno.

En el momento de producirse la rotura, la resistencia al corte a lo largo de la superficie de deslizamiento está movilizada, y el terreno se encuentra, en su totalidad, en equilibrio estático.

2.4.2. Factor de seguridad

Se define el factor de seguridad (F.S), como el valor que cuantifica la diferencia entre las condiciones reales que presenta el talud, y las condiciones que llevan a su rotura.

El factor de seguridad es el coeficiente mínimo de todos los coeficientes de seguridad asociados a todas las superficies de deslizamiento posibles. La expresión del factor de seguridad viene dada por la expresión:

$$FS = \frac{\int \tau_R \cdot ds}{\int \tau \cdot ds}$$

Dónde:

τ_R = Es la resistencia al corte máximo que se puede movilizar a lo largo de la superficie potencial de deslizamiento

τ = Es la resistencia al corte movilizadO a lo largo de la superficie potencial de deslizamiento.

ds = Es el diferencial de longitud a lo largo de la superficie de deslizamiento.

Definir el factor de seguridad con respecto a la resistencia al corte es lógico porque la resistencia al corte es la que realmente condiciona el resultado y a su vez tiene el mayor grado de incertidumbre (Melentijavic, 2005).

El F.S. también se puede definir de otras maneras. En primer lugar, es posible definirlo como cociente entre el valor de la cohesión o ángulo de rozamiento del talud actual, y el valor de cohesión o ángulo de fricción del talud requerido para mantener el talud estable.

También es posible definirlo como el cociente entre los momentos que actúan en un talud resistente al deslizamiento, y los que inducen al deslizamiento. Para valores del factor de seguridad inferior a 1, indica que el movimiento a lo largo de la superficie de deslizamiento es posible.

Si se da el caso que, para distintas superficies, el valor del factor de seguridad es menor que 1, el movimiento es posible a lo largo de todas ellas. Partiendo de $1 = F.S.$, se calcula el ángulo máximo que puede tener un talud para ser estable, con tal de tener un margen de seguridad, el ángulo de un talud tendría que venir definido por valor del factor de seguridad superiores a la unidad.

Como ejemplo de orden de magnitud, los valores del factor de seguridad para el cálculo de taludes son de $3.1 = F.S.$, para el caso de taludes temporales, i de $F.S = 1,5$ para el caso de taludes definitivos (Hoek y Bray, 1981, Hoek, 1991).

2.4.3. Principales métodos de cálculo

Existen diferentes tipos de métodos para el cálculo de la estabilidad de taludes que nos determinan un factor de seguridad adecuado para garantizar la falla y dar una solución al deslizamiento de los taludes a estudiar en la zona.

Tabla 3. Métodos de tablas o números de estabilidad

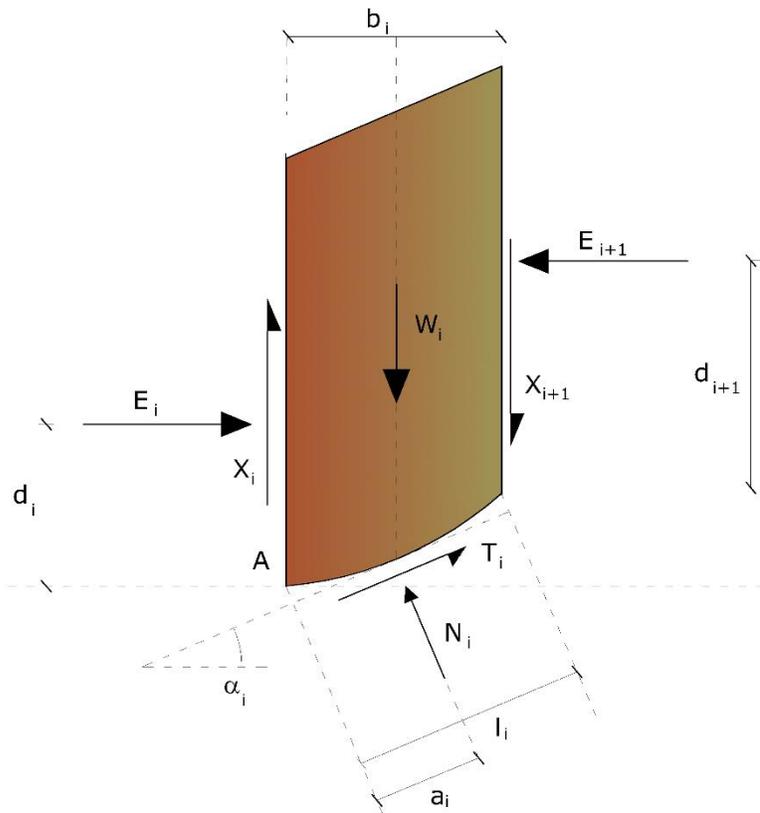
Autor	Parámetros	Inclinación del talud	Método analítico utilizado	Observaciones
Taylor (1948)	C_U	0-90°	$\emptyset=0$	Análisis no drenado. Taludes secos solamente
	$C_Y \emptyset$	0-90°	Círculo de fricción	
Bishop y Morgenstern (1960)	$C_Y \emptyset_{YTU}$	11-26.5°	Bishop	Primeros en incluir efectos de agua
Gibson y Morgenstern (1960)	C_U	0-90°	$\emptyset=0$	Análisis no drenado con cero resistencias en la superficie y C_U aumenta linealmente con la profundidad
Spencer (1967)	$C_Y \emptyset_{YTU}$	0-34°	Spencer	Círculo de pie solamente
Janbu (1968)	C_U	0-90°	$\emptyset=0$	Una serie de tablas para diferentes efectos de movimiento de agua y grietas de tensión
	$C_Y \emptyset_{YTU}$		Janbu GPS	
Hunter y Schuster (1968)	C_U	0-90°	$\emptyset=0$	Análisis no drenando con una resistencia inicial en la superficie y C_U aumenta linealmente con la profundidad
Chen y Giger (1971)	$C_Y \emptyset$	20-90°	Análisis límites	
O'Connor y Giger (1971)	$C_Y \emptyset_{YTU}$	11-26°	Bishop	Bishop y Morgenstern (1960) extendido para incluir $N_c=0.1$
Hoek y Bray (1977)	$C_Y \emptyset$	0-90°	Círculo de fricción cuña	Incluye aguas subterráneas y grietas de tensión. análisis de bloque en tres dimensiones
Cousins (1978)	$C_Y \emptyset$	0-45°	Círculo de fricción	Extensión de métodos de Taylor (1948)
Charles y Soares (1984)	\emptyset	26-63°	Bishop	Envolvente de falla no lineal de Mohr Coulomb
Barnes (1991)	$C_Y \emptyset_{YTU}$	11-63°	Bishop	Extensión de Bishop y Morgenstern (1960) para un rango mayor de ángulos del talud

Fuente: Estabilidad de taludes

2.4.3.1. Método de Bishop

Bishop (1955) presentó un método utilizando dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las dovelas. Bishop asume que las fuerzas entre dovelas son horizontales o sea que no tiene en cuenta las fuerzas de cortante. La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón se utiliza una versión simplificada.

Figura 2.14. Métodos esfuerzos Bishop



Fuente: <https://www.geostru.eu/es/estabilidad-de-taludes>

Fórmula usada para el cálculo de Bishop

$$\sum \left[\frac{(Cbn + Wn(1 - run) \tan \phi) \sec \alpha n}{1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha n}{FS}} \right]$$

$$FS = \sum Wn \sin \alpha n$$

Dónde:

W = Peso de la dovela

u = Presión de poros.

B = Base de la dovela

c = Cohesión del suelo

ϕ = Ángulo de fricción del suelo.

A = Ángulo de la superficie de falla en la dovela.

F.S. = Factor de seguridad.

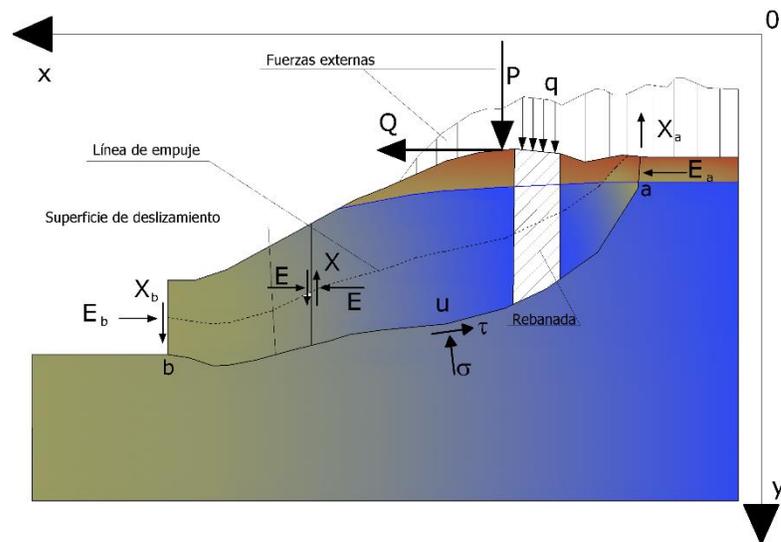
Aunque el método solo satisface equilibrio de momentos, se considera que los resultados son muy precisos en comparación con el método ordinario.

Originalmente desarrollado para roturas circulares, considera que las interacciones entre rebanadas son nulas.

2.4.3.2. Método de Janbu

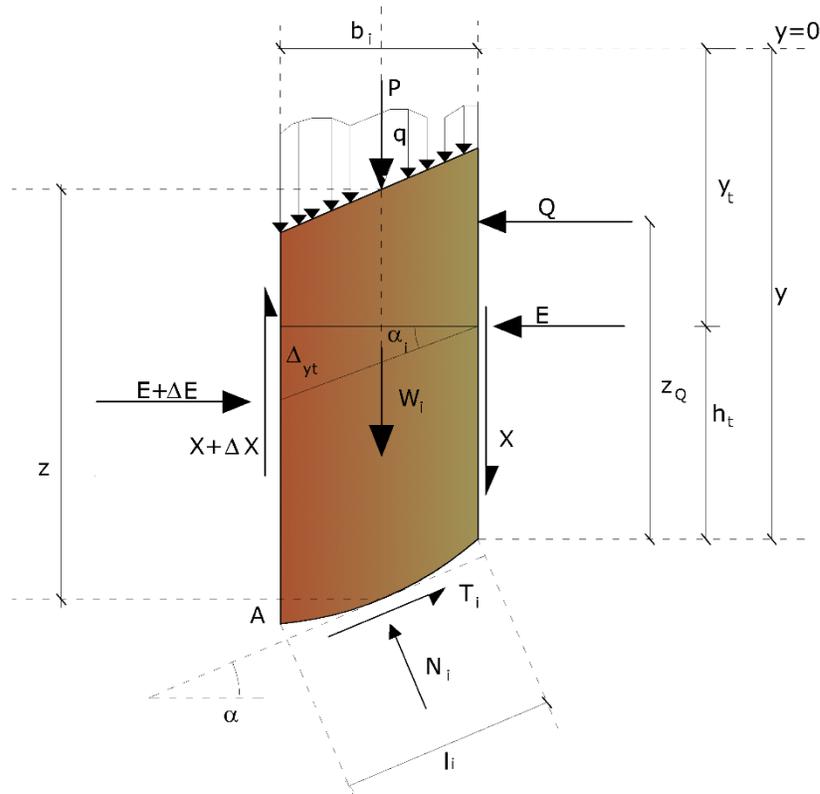
Diseñado para superficies no necesariamente circulares, también supone que la interacción entre rebanadas es nula, pero a diferencia de Bishop busca el equilibrio de fuerzas y no de momentos.

Figura 2.15. Representación del conjunto según la hipótesis de Janbu



Fuente: <https://www.geostru.eu/es/estabilidad-de-taludes>

Figura 2.16. Acciones en la i-ésima rebanada según la hipótesis de Janbu



Fuente: <https://www.geostru.eu/es/estabilidad-de-taludes>

Experiencias posteriores hicieron ver que la interacción nula en el caso de equilibrio de fuerzas era demasiado restrictiva, lo que obligó a introducir un factor de corrección empírico aplicable al FS. En versión posterior, en el denominado método riguroso, se define una línea de empuje entre las rebanadas y se buscan los equilibrios en fuerzas y momentos respecto al centro de la base de cada una.

$$FS = \frac{f \left\{ [C''b + (W - ub) \tan \theta] \frac{1}{\cos \alpha} \right\}}{\sum W \tan \alpha}$$

Dónde:

W = Peso de la dovela.

u = Presión de poros.

B = Base de la dovela.

c = Cohesión del suelo.

Φ = Ángulo de fricción del suelo.

A = Ángulo de la superficie de falla en la dovela.

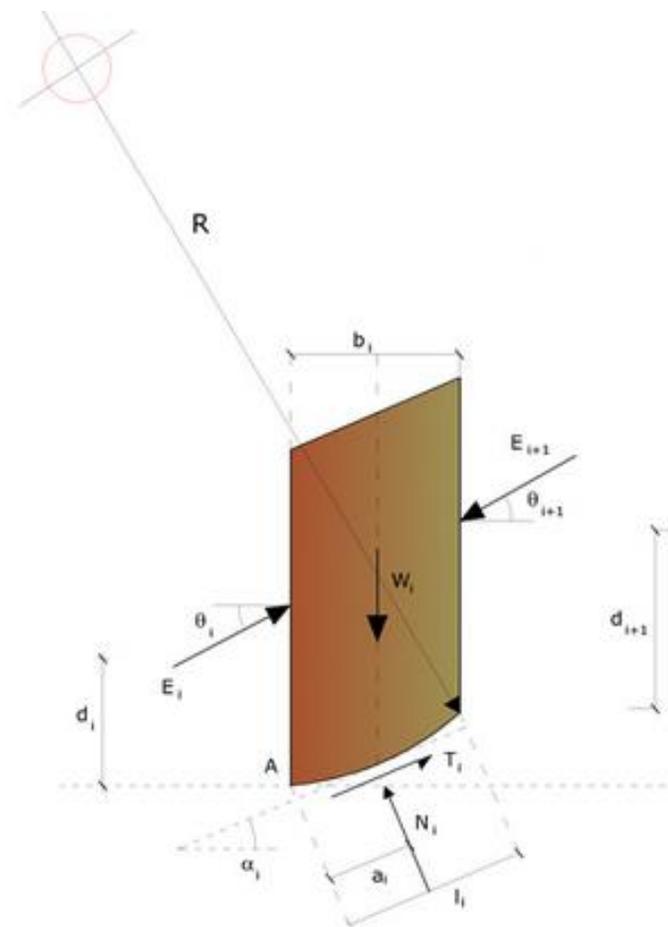
f_0 = Factor de corrección.

F.S = Factor de seguridad

2.4.3.3. Método de Spencer

Supone que de la interacción entre rebanadas aparece una componente de empuje con ángulo de inclinación constante, por lo que, mediante iteraciones, analiza tanto el equilibrio en momentos como en fuerzas en función de ese ángulo, hasta hacerlo converger hacia un mismo valor, calculando entonces el F.S correspondiente. Es aplicable tanto a roturas circulares como generales.

Figura 2.17. Acciones en la i -ésima rebanada según la hipótesis de Spencer



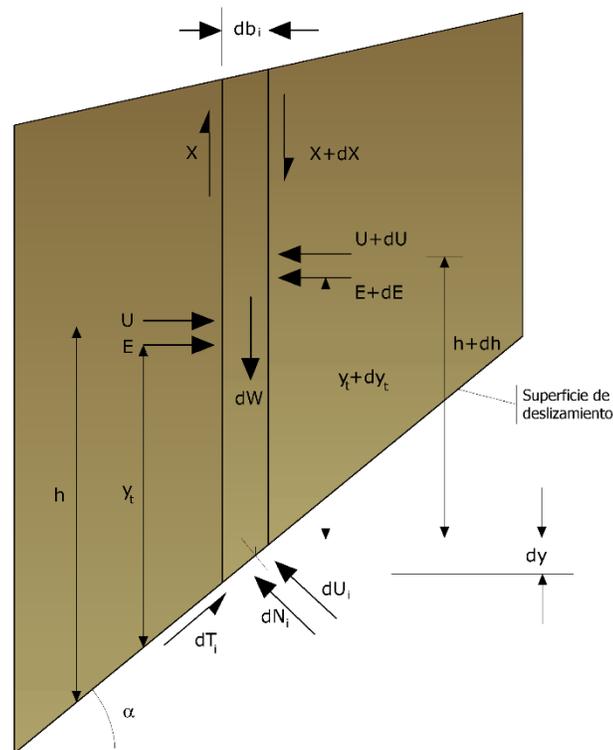
Fuente: <https://www.geostru.eu/es/estabilidad-de-taludes>

El método de Spencer es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de momentos como de esfuerzos. El procedimiento de Spencer (1967) se basa en la suposición que las fuerzas entre dovelas son paralelas las unas con las otras o sea que tienen el mismo ángulo de inclinación.

2.4.3.4. Método de Morgenstern y Price

El método de Morgenstern y Price (1965) asume que existe una función que relaciona las fuerzas de cortante y las fuerzas normales entre dovelas. Esta función puede considerarse constante como en el caso del método de Spencer puede considerarse otro tipo de función.

Figura 2.18. Acciones en la i -ésima rebanada según la hipótesis de Morgenstern y Price



Fuente: <https://www.geostru.eu/es/estabilidad-de-taludes>

Esta posibilidad de suponer una determinada función para determinar los valores de las fuerzas entre dovelas lo hace un método más riguroso que el de Spencer.

El método de todo de Morgenstern y Price (1965) asume que existe una función que relaciona las fuerzas de cortante y las fuerzas normales entre dovelas.

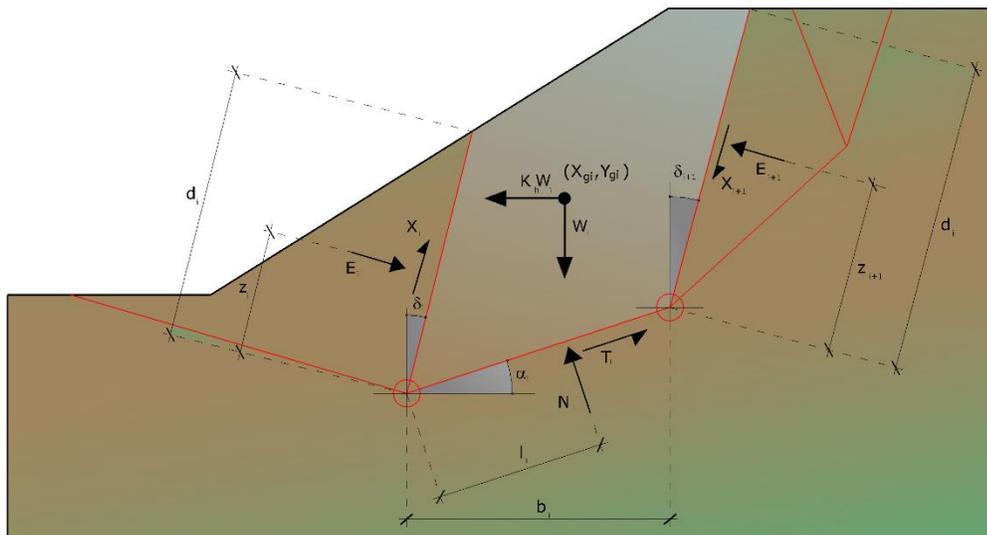
Esta función puede considerarse constante como en el caso del método de Spencer o puede considerarse otro tipo de función. Esta posibilidad de suponer una determinada función para determinar los valores de las fuerzas entre dovelas lo hace aún más riguroso que el de Spencer.

Al igual que el anterior, también es de aplicación general, y trata de alcanzar tanto el equilibrio de momentos como de fuerzas. La diferencia fundamental estriba en que la interacción entre rebanadas viene dada por una función que evalúa esa interacción a lo largo de la superficie de deslizamiento.

2.4.3.5. Método de Sarma

Significó un cambio radical respecto a la filosofía de los anteriores, ya que se busca la aceleración horizontal necesaria para que la masa de suelo alcance el equilibrio límite.

Figura 2.19. Ecuación en la i-esima rebanada, método Sarma



Fuente: <https://www.geostru.eu/es/estabilidad-de-taludes>

El factor de seguridad (F.S.) es calculado reduciendo progresivamente la resistencia a cortante del suelo hasta que la aceleración se anula.

Por sus características es aplicable a rebanadas no verticales, y suele ser muy utilizado en el cálculo por Elementos Finitos.

Pero el enfoque de solución, en este caso, está completamente invertido: el problema en efecto requiere encontrar un valor de K (aceleración sísmica) correspondiente a un determinado factor de seguridad; y en particular, encontrar el valor de la aceleración K correspondiente al factor de seguridad $F = 1$, o sea la aceleración crítica.

Se tiene, por lo tanto:

$$K = K_c \text{ Aceleración crítica si } F=1$$

$$F = F_s. \text{ Factor de seguridad en condiciones estáticas si } K=0$$

La segunda parte del problema del Método de Sarma es encontrar una distribución de fuerzas internas X_i y E_i tal que permita verificar el equilibrio de la rebanada y el equilibrio global del macizo, sin violar el criterio de rotura. Se ha encontrado que una solución aceptable al problema se puede obtener asumiendo la siguiente distribución de las fuerzas X_i :

$$\sum \Delta X_i = \lambda$$

$$\Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_i + 1 - Q_1)$$

Dónde:

Q_i = Es una función conocida, donde se toman en cuenta los parámetros geotécnicos promedio en la i -ésima cara de la rebanada i , y λ representa una incógnita.

Por lo tanto, después de algunas iteraciones, con los valores de K_c , λ y F , que permiten obtener también la distribución de las fuerzas entre las franjas.

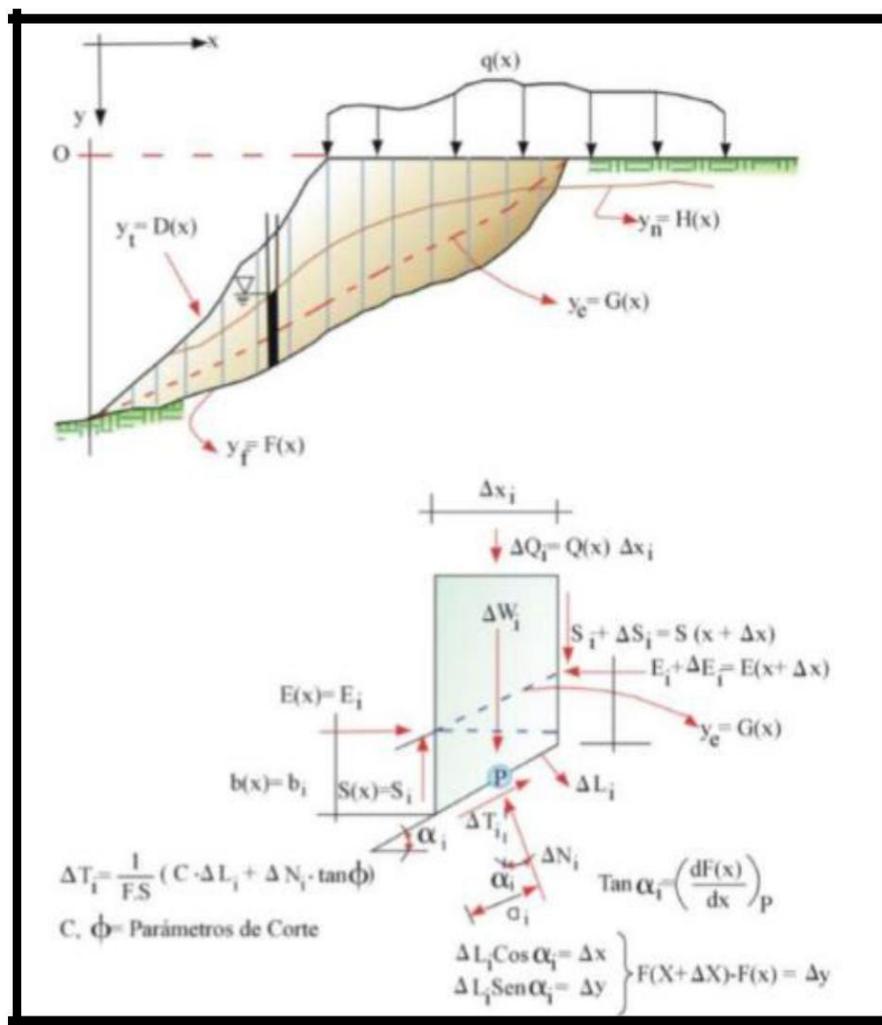
2.4.3.6. El método de las dovelas o rebanadas

Básicamente el método de las rebanadas o dovelas consiste en dividir la superficie de deslizamiento en varios segmentos de ancho (Δx) y analizar las condiciones de

equilibrio de cada rebanada vertical, mediante un diagrama de cuerpo libre, en el cual debe cumplirse que la sumatoria de las fuerzas horizontales y verticales, conjuntamente con la de momentos deben ser cero, es decir:

$$\sum F_h = \sum F_v = \sum M = 0$$

Figura 2.20. Cálculo para determinar el número de dovelas y las fuerzas que actúan sobre ellas



Fuente: Modelos matemáticos de taludes y deslizamientos

2.4.3.7. Método de círculo de Mohr

El Círculo de Mohr es una técnica usada en ingeniería y geofísica para representar gráficamente un tensor simétrico (de 2x2 o de 3x3) y calcular con ella momentos de

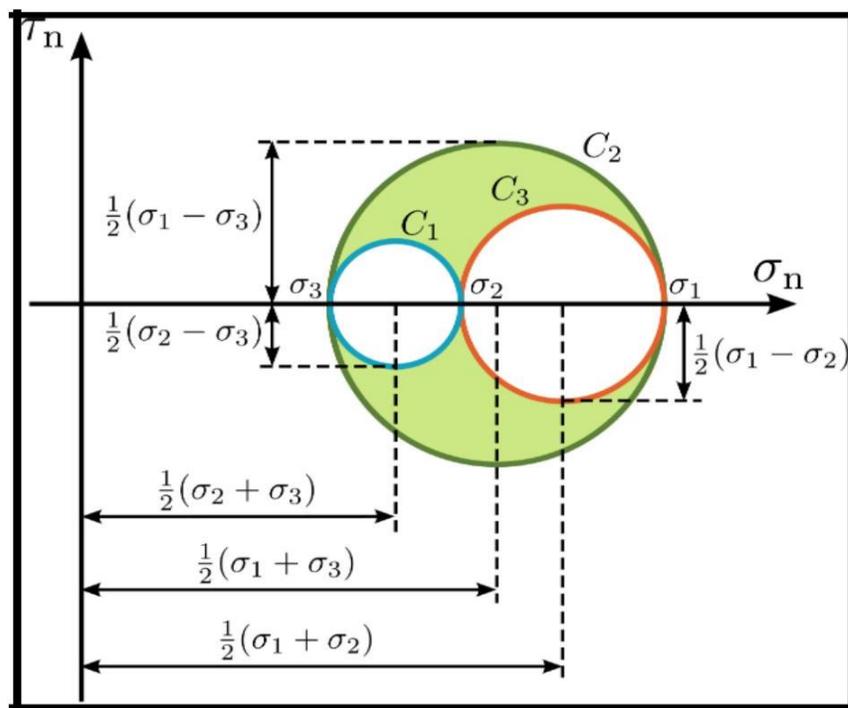
inercia, deformaciones y tensiones, adaptando los mismos a las características de una circunferencia (radio, centro, entre otros).

También es posible el cálculo del esfuerzo cortante máximo absoluto y la deformación máxima absoluta. Este método fue desarrollado hacia 1882 por el ingeniero civil alemán Christian Otto Mohr (1835-1918).

Circunferencia de Mohr para esfuerzos

Caso bidimensional. En dos dimensiones, la Circunferencia de Mohr permite determinar la tensión máxima y mínima, a partir de dos mediciones de la tensión normal y tangencial sobre dos ángulos que forman 90°: Medida 1.

Figura 2.21. Tensión máxima



Fuente: https://es.wikipedia.org/Circculo_de_Mohr

Ha de hacer notar que el eje vertical se encuentra invertido, por lo que esfuerzos positivos van hacia abajo y esfuerzos negativos se ubican en la parte superior. Usando ejes rectangulares, donde el eje horizontal representa la tensión normal y el eje vertical representa la tensión cortante o tangencial.

Para cada uno de los planos anteriores. Los valores de la circunferencia quedan representados de la siguiente manera: Caso bidimensional, donde el estado tensional caía siempre sobre una única circunferencia.

Cada una de las 3 circunferencias que delimitan la región de posibles pares. Se conoce con el nombre de circunferencia de Mohr.

Círculo de Mohr para la tracción simple

El círculo de Mohr es un círculo en el que las coordenadas de los puntos de su circunferencia son la tensión normal y la tensión cortante que existen en una sección inclinada cualquiera de la barra.

El círculo de Mohr es una técnica usada en ingeniería para representar gráficamente un tensor simétrico y calcular con ella momentos de inercia, deformaciones y tensiones, adaptando los mismos a las características de un círculo (radio, centro, entre otros).

También es posible el cálculo del esfuerzo cortante máximo absoluto y la deformación máxima absoluta.

El círculo de Mohr se construye de la siguiente forma: Se toman unos ejes coordenados de forma que en el eje de abscisas situamos las tensiones normales y en el de las ordenadas las tensiones cortantes. Los puntos representativos de las tensiones que actúan en 2 caras perpendiculares definen un diámetro del círculo de Mohr.

2.4.4. Marco normativo

Para el cálculo del factor de seguridad mediante el programa Slide 6.0 este se basa en la Norma Española de Construcciones Sismorresistentes para el cálculo de los componentes en los terrenos.

Entre los métodos de cálculo de taludes para suelos y rocas se utilizó el método simplificado de Janbu diseñado para cualquier superficie de falla. Se concluye que, al tener en cuenta el coeficiente sísmico, el factor de seguridad disminuye drásticamente y aumentan las zonas por las cuales puede fallar el talud.

Dentro del programa Slide 6.0 existen diferentes tipos de métodos para el análisis y la determinación del factor de seguridad de los cuales utilizaré 3 de los más conocidos en el ámbito de la ingeniería civil.

Los métodos que incorpora el programa Slide 6.0 no se basan a una norma específica ya que estos son métodos de cálculo y por lo cual no hay una norma que se rija para la determinación del factor de seguridad.

2.4.5. Programa Slide 6.0

Slide 6.0 es un software de análisis de Estabilidad de taludes en 2D que utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad.

Incluye análisis de agua subterránea por elementos finitos en estado estacionario, e integra capacidades de análisis de sensibilidad, probabilísticos y análisis retrospectivos.

Su ámbito de aplicación en minería y obra civil es muy variado, permitiendo evaluar un gran número de problemáticas geotécnicas, tales como estabilidad de terraplenes, presas, taludes en excavaciones mineras o en edificaciones, efectos de cargas externas, sísmicas, eficiencia de elementos de refuerzo, etc.

Es un software potente y flexible desarrollado por Rocscience, empresa puntera a nivel mundial en modelización geotécnica.

El programa Slide 6.0 ha ido creciendo de manera continua al mismo ritmo que se expandía la capacidad de análisis geotécnico por ordenador en los últimos años.

Este continuo esfuerzo en investigación y actualización, y la solvencia que proporciona su trayectoria, lo convierten en un software de referencia. Prueba de ello es el hecho de ser uno de los programas más reconocidos y utilizados que existen en el mercado.

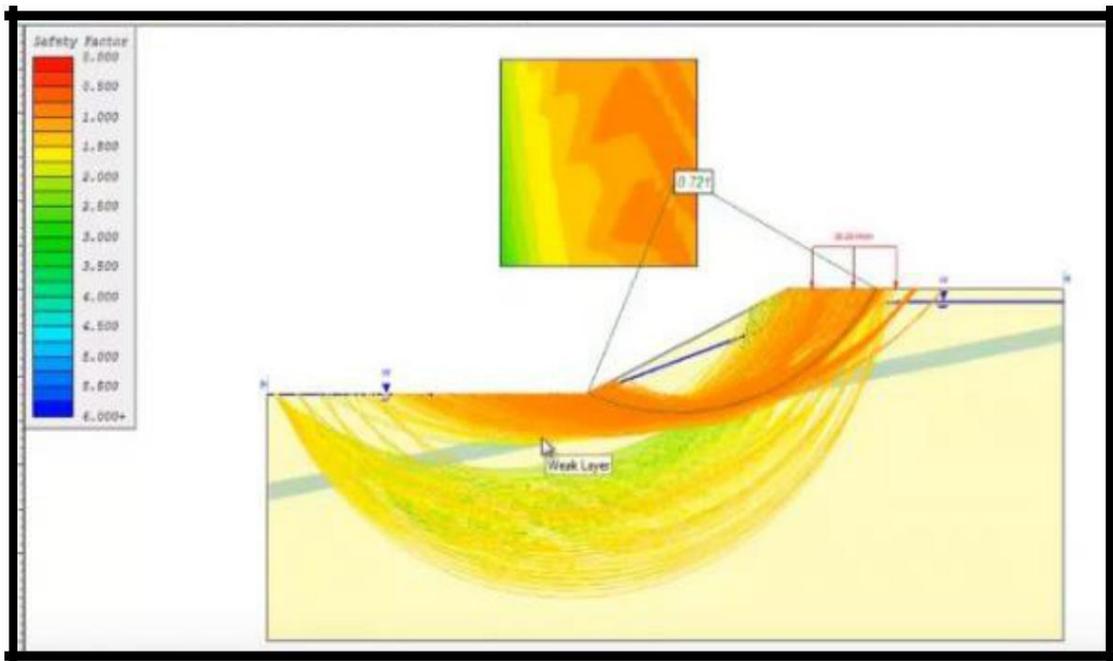
Hoy en día existe una creciente variedad de software de modelación geotécnica a nivel general y también en relación a la estabilidad de taludes.

Sin embargo, no todos los programas cuentan con la capacidad de cálculo y fiabilidad de Slide 6.0. Este programa destaca, además, entre otros programas del mercado por

una interfaz clara y sencilla y por un manejo muy intuitivo de las diversas capacidades que ofrecen los menús de análisis.

Con un costo de licencia muy competitivo en relación a otros competidores en el mercado de su misma capacidad, y su amplia cobertura técnica de análisis, Slide 6.0 se convierte en un software líder en el campo de la modelización geotécnica.

Figura 2.22. Cálculo de estabilidad en 2D con el programa Slide 6.0



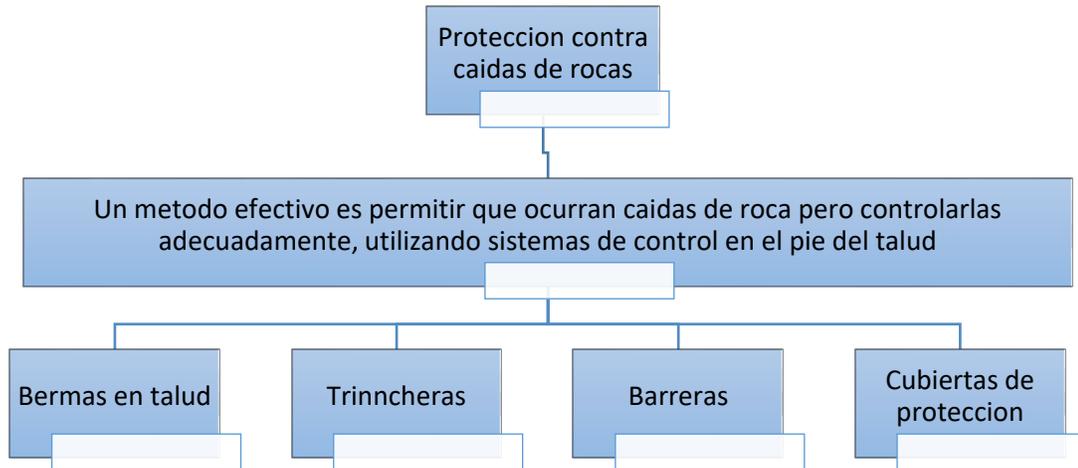
Fuente: <https://www.icog.es/TyT/index.php/2016/10/slide-la-mejor-aplicacion-estabilidad>

2.5. Alternativas de estabilización de taludes

2.5.1. Estructuras de control de movimiento

En el siguiente esquema (figura 2.23) se desarrolla un esquema de aplicación donde se muestra algunas estructuras de control para taludes estratificados.

Figura 2.23. Estructuras de control de movimiento

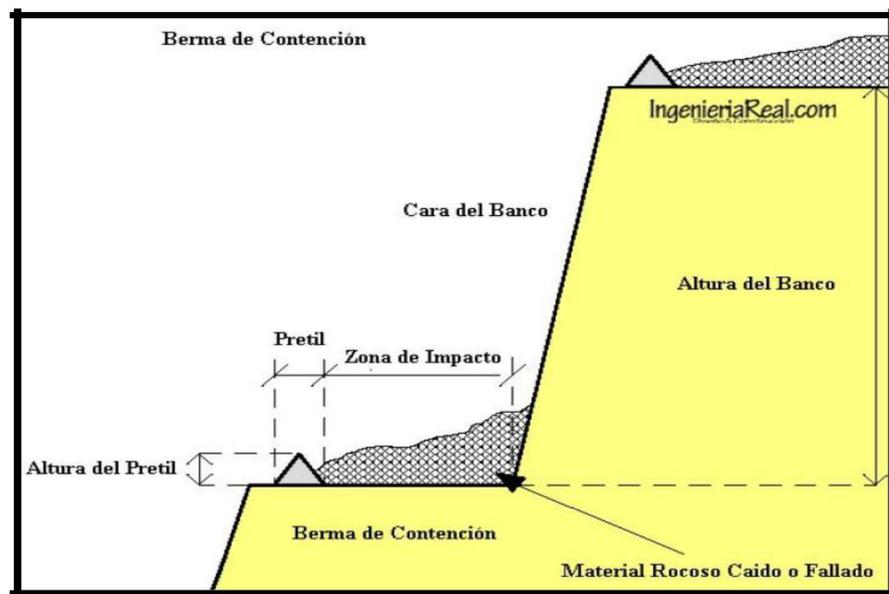


Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.com/53560/>

2.5.2. Bermas en el talud

La excavación de bermas intermedias puede aumentar la amenaza de caídos. Los caídos tienden a saltar en las bermas; sin embargo, el diseño de bermas anchas puede ser muy útil para ciertos casos de caída, especialmente de residuos de roca.

Figura 2.24. Bermas de contención en taludes



Fuente: <https://i2.wp.com/ingenieriareal.com/wp-content/uploads/2016/05/5>

2.5.3. Barreras

Existe una gran variedad de barreras de protección y sus características y dimensiones dependen de la energía de los caídos. Las barreras pueden ser de roca, suelo, tierra armada, muros de concreto, pilotes, gaviones, bloques de concreto o cercas. La barrera generalmente, produce un espacio o trinchera en el pie del talud que impide el paso del caído. Existen programas de Software para determinar el punto de caída de los bloques. Actualmente en el mercado se consiguen geo fábricas y mallas especiales para la atenuación del impacto de los bloques de roca. La idea general es absorber la energía de los bloques.

Figura 2.25. Consolidación de taludes con barrera de malla de alambre



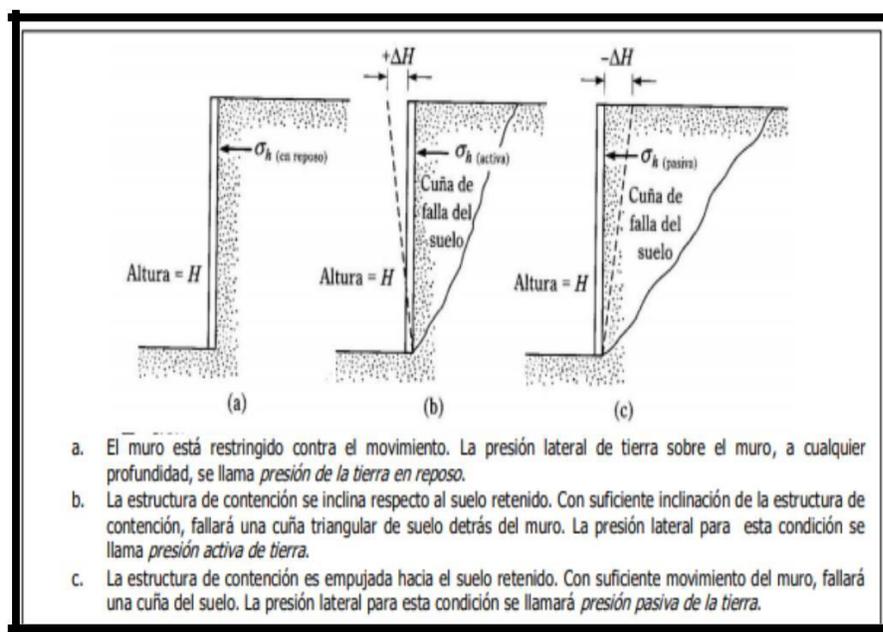
Fuente: <http://www.inaces.com/consolidacion-de-talud-en-jardi-botanic-mar-i-murtra/>

2.6. Estructuras de contención

Un muro de contención, es una estructura lineal y vertical construida a modo de pared como elemento rígido, para el soporte de taludes escarpados de masas de suelo y rocas en macizos fracturados, o de arrumes de materiales heterogéneos, entre otras soluciones donde estructurales, como tablestacas y cortes apuntalados.

En este aparte veremos el diseño de muros de contención, vistos como una estructura que requiere determinar la presión lateral de la masa de tierra, la cual es función de factores como el tipo y magnitud de los movimientos dinámicos y de presiones estáticas que debe soportar el muro, de los parámetros de resistencia al cote en los materiales del relleno, del peso unitario del material que se contiene y de las condiciones de drenaje en el relleno. La figura 2.26 presenta una estructura de contención de altura H . Para tipos similares de relleno:

Figura 2.26. Estructura de contención para tipos de relleno



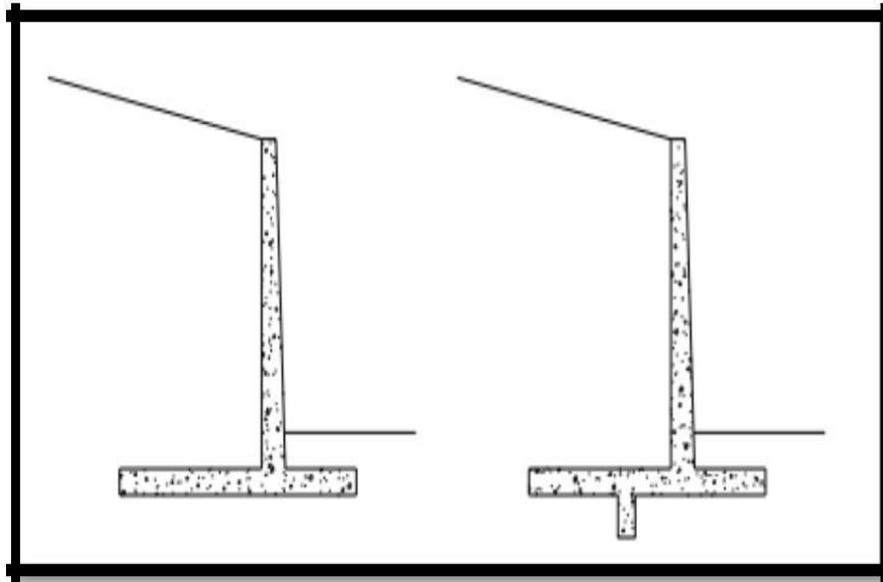
Fuente: Geotecnia para el trópico andino

2.6.1. Muro en voladizo

Muro de contención en voladizo: están contruidos de concreto reforzado, se componen de un vástago apoyado sobre una losa, en ocasiones es necesario diseñar una llave en la losa para estabilizarlo y evitar deslizamientos, es una solución que resulta económica para alturas no más de 8 m.

Existen otros tipos de muros no convencionales como los de tierra armada, con elementos prefabricados, entre otros.

Figura 2.27. Muro de contención en voladizo



Fuente: <http://bdigital.unal.edu.co/53560/22/obrasdeestabilizaciondetaludes>

2.6.2. Muro de gaviones

Estas construcciones sirven de protección contra las inundaciones incluye, tanto los medios estructurales, como los no estructurales, que dan protección o reducen los riesgos de inundación.

La forma y el material empleado en su construcción varía, fundamentalmente en función de: Los materiales disponibles localmente, el tipo de uso que se da a las áreas aledañas.

2.6.2.1. Gaviones

Se colocan a pie de obra desarmados, y son rellenos con piedra de canto rodado o piedra chancada de determinado tamaño y peso específico. Las operaciones de armado y relleno de piedras no requieren de personal calificado.

Este sistema de gaviones permite ejecutar obras que ahorran tiempo y gastos en operarios. a. Aplicaciones: construcción de diques, protección de taludes, encauzamiento de ríos, espigones, vertederos, defensa ribereña, muros ornamentales, revestimiento de canales, muros de contención.

2.6.2.2. Tipos de gaviones

Gaviones caja

Los gaviones caja son elementos en forma de prisma rectangular, ideales para la construcción de estructuras de protección, defensa y contención de márgenes. Funciona por gravedad y su comportamiento técnico- funcional es excelente al permitir la construcción de estructuras monolíticas, flexibles, permeables y resistentes.

Gaviones colchón

El colchón es un tipo de red hecha de alambre, pero su altura es inferior a 0,50 m. Se utilizan para la protección y mejora de los mares, los ríos, el control de la erosión, construcción de autopistas y vías férreas.

Gaviones de suelo reforzado o del tamesh

Gavión de suelo reforzado o gavión del tamesh, es un gavión tipo caja que presenta un panel de refuerzo fabricado con malla hexagonal de doble torsión (figura 2.28). Este panel está conformado por una malla uniforme y continua, el cual se introduce en la masa terreno garantizando un mejor desempeño en terrenos que requieren mayor refuerzo de suelo tales como contención y estabilización de taludes.

Figura 2.28. Muro de Gaviones



Fuente: <https://es.slideshare.net/loghan4390/soluciones-geotcnicas-en-estabilidad-de-taludes>

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño metodológico

3.2. Tipo y diseño de la investigación

3.2.1. Tipo de estudio

(Murillo, 2008, pág. 5) El estudio aplicado se llama “investigación practica”, ya que estudia la aplicación o uso de las sapiencias aprendidas, al mismo tiempo se obtienen otras, luego de realizar y establecer la práctica fundamentada en el estudio.

El actual estudio es de tipo aplicado, puesto que usaran teorías ya existentes y no se intentará cambiar algo ya establecido, sin embargo, siempre acatando lo que nos mande el reglamento en el que va ser utilizado, en la propuesta de estabilización de talud se va proponer.

Cuantitativo: Puesto que acopia y examina la data que están en las variables y esto ayuda a las decisiones a tomar según las medidas cuantificadas (Hernández, Fernández y Batista, 2010, pág. 4).

Este método tendrá mucha semejanza ya que, tendré que definir la zona más afectada con los derrumbes, seguidamente se hará una clasificación de los suelos para poder determinar cuáles son las razones de fallas, y por último caracterizar que métodos serán los más aconsejables que permitan determinar una mejor estabilidad de taludes.

3.2.2. Nivel de estudio

Descriptivo, porque permite conocer situaciones, fenómenos, actitudes, propiedades, características de los grupos, personas, acontecimientos y serán sometidos a un análisis y descripción respectiva (Hernández 2010).

Suelos estratificados de taludes como ser arenisca, cuarcitas, limolitas, lutitas, de color claro o gris verdoso.

3.2.3. Población y muestra

3.2.3.1. Población

“Población es el universo de los elementos o individuos del estudio, es exponer, todos los prototipos que estudiaremos, lo cual también llamado universo” (Hurtado y Toro, 1998, pág. 79).

En el actual estudio tendré por población el tramo de la Carretera Iscayachi final Copacabana kilómetro 10+000 – 15+000 en la provincia Méndez.

3.2.3.2. Muestra

Robles y Pino (1980), Es parte de la población o del universo estadístico. (pág. 12).

Es el tramo de la Carretera Iscayachi final Copacabana kilómetro 10+000 – 15+000, zona donde se va hacer la prueba de estabilidad del talud (consta de 5 km).

3.2.3.3. Técnicas de muestreo

Tamaño y muestra

Se definen por un muestreo aleatorio simple.

Selección de las técnicas de muestreo

El muestreo se realizará de la forma estratificado.

Determinación del tamaño de la muestra

El método de la obtención de muestra será de manera aleatoria, significa que todos los elementos seleccionados los realizó de manera visual y manual sin ninguna determinación que exija extraer tantas muestras a diferentes taludes.

3.2.4. Listado de actividades a realizar, e instrumentos de recojo de información

3.2.4.1. Levantamiento topográfico

Se realiza el levantamiento topográfico del tramo a analizar determinando curvas de nivel que nos genere los cortes transversales en los taludes cada 20 metros disparando

en centro del camino, al borde de la cuneta, al borde de la berma, al pie del talud, al centro del talud y a la cabeza del talud, para poder tener geoméricamente una mejor posibilidad de análisis de los taludes.

3.2.4.2. Estudios de suelos

Se realiza la obtención de muestra de los 10 taludes verificando de manera aleatoria los estratos que se presenten en cada talud, al pie del talud, centro del talud y de la cabeza del talud.

Clasificación de suelos

Se determinará mediante muestras obtenidas del campo de los distintos tipos estratos o capas de suelos en los taludes para poder determinar mediante la norma SUCS y AASHTO el tipo de suelo que corresponde a cada estrato del talud.

Granulometría

Mediante cierta cantidad de estratos obtenidos en campo se procederá a realizar el ensayo de granulometría en este caso se realizará mediante el método de lavado utilizando y de ahí proceder como dice la guía de laboratorio de suelos y de acuerdo a este ensayo poder determinar la curva granulométrica.

Límites de Atterberg

Se realizó el ensayo de límites de Atterberg y con ayuda del aparato de casa grande poder determinar los límites líquidos y plásticos de los estratos de suelo del talud en el tramo ya nombrado y poder determinar el contenido de humedad de los estratos.

Consolidación

Se realizó este ensayo para poder determinar la reducción casi instantánea en el volumen de la masa de un suelo, bajo una carga aplicada, para poder expulsar y comprimir los aires contenidos en los vacíos del suelo.

Corte directo

Este ensayo se realizó con los materiales de partículas más pequeñas de los estratos obtenidos en campo en su mayoría de la parte medio y cabeza del talud y de acuerdo a

esto poder determinar su contenido de humedad, la cohesión y el ángulo de corte o esfuerzo de corte, datos que serán introducidos al programa Slide 6.0, para poder determinar el factor de seguridad de los taludes.

Compresión simple

Este ensayo se realizó para los estratos de suelos duros (rocas) donde mediante la compresión a las rocas poder determinar la resistencia de las misma y el esfuerzo de corte, para luego este dato obtenido llevar a una tabla de clasificación de rocas y poder determinar el peso unitario, la cohesión y ángulo de fricción basándonos en los parámetros de los datos obtenidos.

Densidad del estrato rocoso

Con ayuda del densímetro no nuclear nos ayudara a determinar las densidades in situ sobre la colocación de los estratos rocosos y obtener volúmenes, los cuales serán de gran ayuda para poder realizar el caculo de costos y precios unitarios.

Cabe recalcar que estos ensayos nombrados se realizaron para cada talud en los más de 5 kilómetros de taludes en la zona. En mi caso se dividió cada 1 kilómetro para la obtención de muestras.

3.2.5. Preparación previa para la aplicación

Para la preparación previa es recomendable en primer lugar aprender el programa Slide 6.0 de manera correcta ya que este será el que determine el factor de seguridad de los taludes con lo cual se podrá determinar la estabilidad o no de los taludes en la zona Chorcoya Méndez-Chorcoya Avilés.

Luego de esto hacer un sondeo geológico y geotécnico de la zona afectada para poder analizar y determinar las causas de las fallas de los deslizamientos.

Analizar diferentes diseños de taludes y así de esta manera poder determinar su altura, pendiente y elementos topográficos con base de los parámetros geotécnicos donde para el diseño de un talud se podrá emplear varios sistemas.

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

El análisis requiere conocimientos sobre la geometría del terreno y las obras de ingeniería proyectadas o ya existentes, las resistencias al corte de los materiales y las condiciones de presión de poros en caso de inestabilidad actual, es necesario definir el tipo de movimiento de falla del talud, mientras que en la predicción del comportamiento, se debe establecer el tipo de inestabilidad con mayores posibilidades de ocurrir; esto requiere un buen conocimiento y utilización de la geología, geomorfología, la foto interpretación, el poder de observación y la experiencia.

Es también común definir la estabilidad de un talud en términos de factor de seguridad obtenido de un análisis determinístico; cuyos modelos, deben tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad como son la geometría del talud, parámetros geológicos, carga dinámica por efecto de los sismos, flujo de agua, propiedades de los suelos, etc. es por esto que el presente análisis evalúa la estabilidad para diferentes inclinaciones de distintos taludes de suelo, ubicados en el tramo ya nombrado anteriormente .aplicando métodos probabilísticos, que estiman no solo el factor de seguridad, sino la probabilidad de falla, el índice de confianza y parámetro de suelo de mayor peso en la estabilidad con el fin de determinar el talud de corte más seguro en la ejecución d este tramo de vía.

3.2.6.1. Validez de los resultados

Para dar validez a los resultados se realizó los ensayos de laboratorio de forma adecuada para determinar valores y datos válidos, los cuales serán introducidos al programa Slide 6.0. Para esto es que debemos realizar los ensayos de compresión simple, granulometría, límites y clasificación de los suelos poder determinar el factor de seguridad que nos garantice la estabilidad de los taludes a estudiar.

3.2.7. Análisis de estratos

Para el análisis de los estratos se procese a hacer una clasificación de suelos, determinando también el contenido de humedad de cada estrato, antes de esto se debe verificar a simple vista q los taludes tenían diferentes tipos de estratos en su mayoría

rocas entre ellas lutitas, cuarzos, cuarcitas y limolitas que tiene una resistencia muy baja en el tema de las rocas y estas son las causantes de los deslizamientos en las zonas de estudio.

3.3. Características del área de estudio

3.3.1. Ubicación

El área de estudio encuentra ubicada en las comunidades de "Chorcoya Méndez e inicio de Chorcoya Avilés" que pertenecen a la provincia Eustaquio Méndez del departamento de Tarija, el cual se situado al sur del territorio boliviano a una altura de 1905 msnm. Dichas poblaciones de estudio ya nombradas pertenecen al denominado tramo Iscayachi – Final Copacabana, como parte de una red fundamental para el desarrollo del departamento.

Figura 3.1. Mapa de Tarija

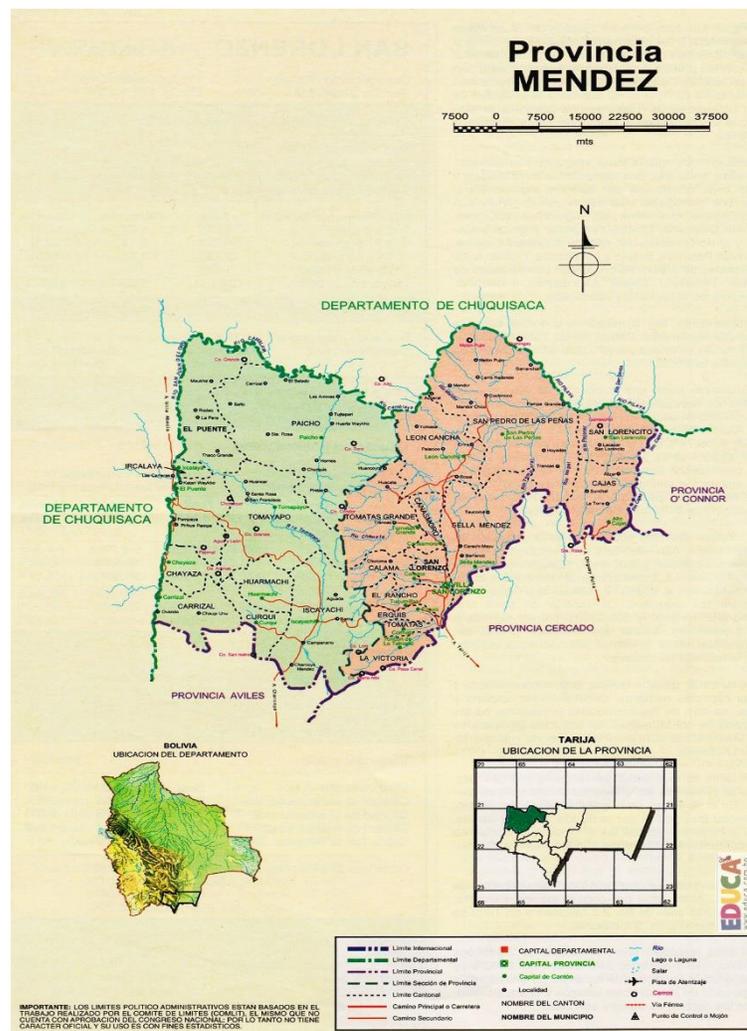


Fuente: <https://www.educa.com.bo/geografia/departamento-tarija>

Dicho tramo es transitable constantemente, pero por fallas geológicas ocurren derrumbes, los cuales llegan a ocasionar grandes invasiones de masa de suelos rocosos y arcillosos hacia la calzada ocasionando daños en la misma y el retraso de la construcción del asfaltado del tramo ya nombrado, y exponiendo la vida de las personas que se transita por la zona.

El lugar de estudio se encuentra a una distancia de aproximadamente (73 kilómetros) desde la ciudad de Tarija, desde la progresiva 2+000 hasta las progresiva 17+000. Donde el lugar más afectado empieza desde la progresiva 10+000 hasta las 15+550.

Figura 3.2. Mapa provincia Méndez de Tarija



Fuente: <https://www.educa.com.bo/geografia/provincia-mendez>

Figura 3.3. Tramo de estudio



Fuente: Google Earth

3.3.2. Descripción del área de aplicación

Esta localidad se encuentra a 3900 msnm y es un lugar donde la altura predomina al igual que el frío es por eso que en el lugar de estudio la mayoría de los suelos son orgánicos.

La zona atraviesa una región topográfica entre quebradas y montañas con muy poca vegetación (pasto seco o paja brava), en un lugar donde alcanza unas temperaturas entre 20°C como máximo y un periodo diario de entre los 12°C a 15°C y en algunos casos la temperatura llega a bajar hasta los 2°C.

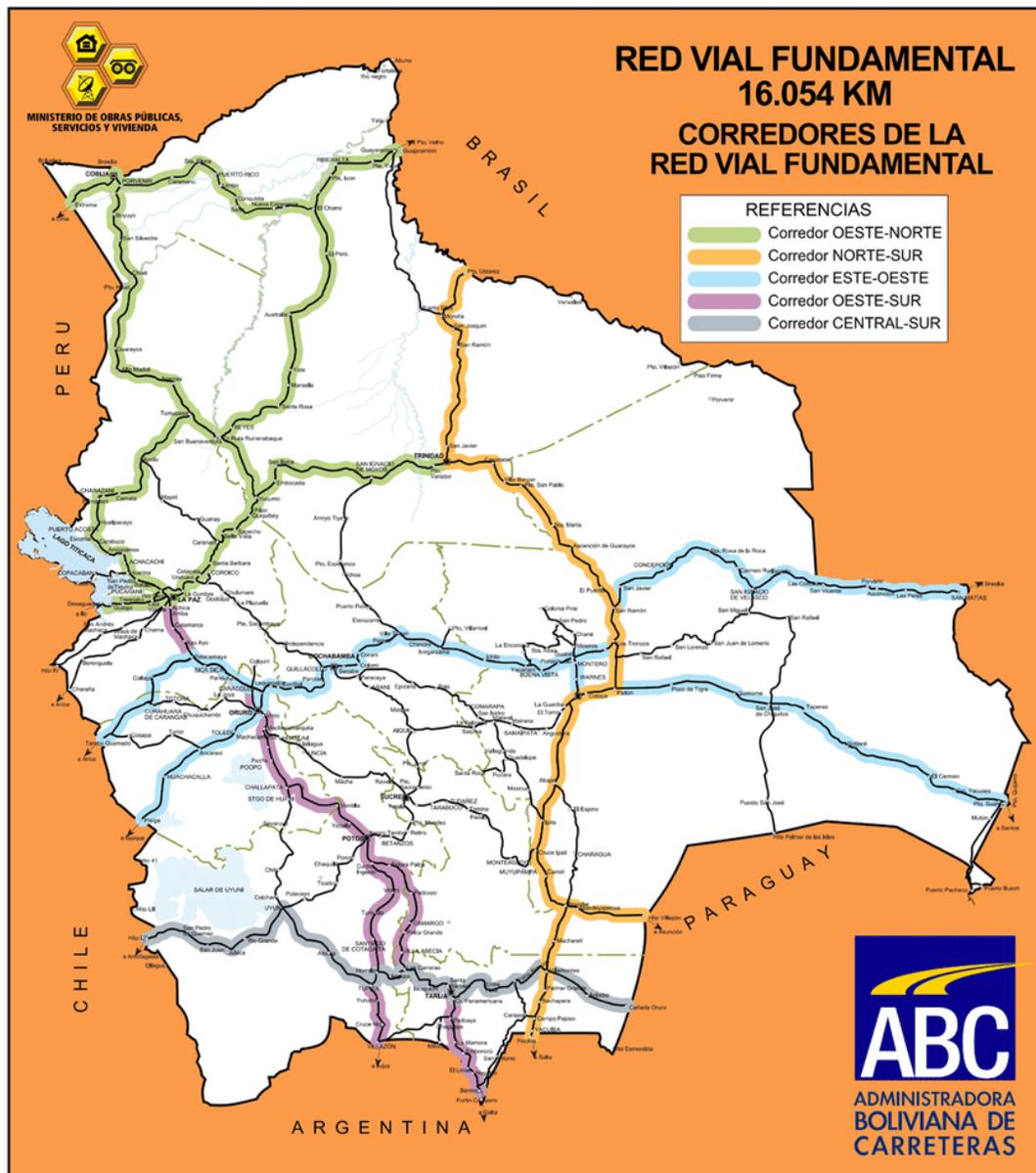
Actualmente el área de aplicación se encuentra afectada por los deslizamientos estos a causas de los diferentes tipos de estratos de la zona en su mayoría rocas orgánicas.

3.3.3. Importancia de la zona de estudio

La zona de estudio es un tramo importante dentro del corredor Oeste-norte del país vinculando Chile (Puerto Arica – Puerto Iquique); Perú (Puerto Ilo) con Argentina (Jujuy – Oran – Salta – Puerto Rosario) cubriendo el tramo boliviano Desaguadero – La Paz – Oruro – Potosí – Iscayachi, tal como se muestra en la siguiente figura.

El tramo “Chorcoya Méndez -Chorcoya Avilés” es de vital importancia para mantener comunicados a la ciudad de Tarija y el poblado de Iscayachi y Copacabana, para mantener esta continuidad de una circulación vehicular optima, se realizó un Análisis de la estabilidad de taludes estratificados es cual presenta tres tipos de estratos en la zona de estudio.

Figura 3.4. Corredores de la red vial



Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

3.3.4. Características de área de estudio

3.3.5. Clima

La zona presenta un clima variado que alcanza los 20° C en épocas de verano entre septiembre hasta marzo como máximo y desde abril hasta agosto con un periodo diario de 13°C con frecuente lluvia y vientos que alcanzan 200 km/hora

3.3.6. Vegetación

Se muestra una vegetación muy amplia ya que embellece al lugar “la cordillera de sama” y sus alrededores, pero la zona presenta bastante tierra orgánica donde la gente del lugar utiliza las zonas productivas para en ellas cosechar papa, maíz y cebada que son las únicas producciones que se puede realizar ya que en la zona presenta un clima frio y poco cálido en su mayoría la gente se dedica a la cría de ganado ovino (vacas, ovejas, llamas y vicuñas).

3.3.7. Drenaje e infiltración

Estas serán las obras que permitirán controlar o disminuir las presiones que ejerce el agua dentro del suelo o la roca facilitando su circulación y evacuación rápida a través del talud evitando excesos de presiones y erosión.

La zona de estudio ya presenta un sistema de drenaje y evacuación de agua superficiales, que estas se deslizan de manera inclinada dando así un mejor deslizamiento de las aguas de lluvia y la infiltración que estas ocasionan en épocas de lluvia, por esta misma razón en la imagen que se mostrara a continuación se puede apreciar algunas alternativas de un sistema de drenaje y bajante de agua para una mejor estabilidad en la zona de estudio.

3.3.8. Características geotécnicas

Se han estudiado los trabajos realizados en geología final en el diseño final de supervisión técnica para la construcción. Asfalto Iscayachi -Final Copacabana, donde entre este tramo se encuentra una parte donde el deslizamiento de los taludes es frecuente entre el tamo Chorcoya Méndez y el inicio de Chorcoya Avilés que se

encuentran entre las progresiva 10+000 a la progresiva 15+550 donde en el informe de revisión, complementación y validación, como base para la determinación de la obra en ejecución apoyado con exploración de campo, para identificar las formaciones y estructuras, así como las condiciones de estabilidad de taludes o laderas continuas a la plataforma de la carretera.

Uno de los aspectos que caracterizan las condiciones ingeniero geológicas de una región son los fenómenos fisicogeológicos que se desarrollan en las misma, para el ingeniero geólogo, la tarea es la de desentrañar no solo el desarrollo de dichos fenómenos hasta el presente, sino también es la de estimar y predecir su acción en las condiciones nuevas creadas por ejecución de una obra.

No podemos estudiar los fenómenos de erosión, taludes, clasificación, etc., como entes: estáticos o muertos, sino más bien todos los contrarios, ellos has de verse como aspectos vivos, cambiantes, con origen, desarrollo y “muerte”, y todos estos aspectos han de ser aclarados teniendo muy en cuenta la revitalización que pueda provocarles el cambio de las condiciones naturales como resultados de la obra.

3.3.8.1. Caracterización geotécnica de los suelos por progresivas

La descripción geotécnica de los suelos encontrados a lo largo de la vía se detalla a continuación:

Tramo entre las progresivas 09+390 a 10+250

El trazo del camino atraviesa depósitos fluvio-lacústres del sistema cuaternario, litológicamente compuesta por limos, arcillas de coloración gris clara a oscura con pequeños horizontes de materia orgánica.

Estos suelos se encuentran dentro de los grupos A-4 (5).

Tramo entre las progresivas 10+250 a 15+400

El camino atraviesa macizos rocosos del sistema ordovícico, formación Iscayachi, litológicamente compuesta por bancos de areniscas alteradas, areniscas cuarcíticas y

claras intercalaciones de lutitas-limolitas amarilla-verdusca, la parte superior se encuentra intemperizada.

Tramo entre las progresivas 15+400 a 16+000

El camino atraviesa macizos rocosos del sistema ordovícico, formación litológicamente compuesta por bancos de areniscas alteradas, areniscas cuarcíticas y claras intercalaciones de lutitas-limolitas amarilla-verdusca, en sectores se encuentra cubiertas por depósitos de origen coluvio-fluviales, con espesores variables entre dos a cinco metros.

Estos suelos se encuentran dentro de los grupos A-4 (6).

3.3.8.2. Estabilidad de taludes

La estabilidad de los taludes y de los deslizamientos, tiene una importancia enorme a los fines ingenieriles.

Es necesario marcar la zona de los posibles deslizamientos y calcular la estabilidad de los taludes naturales en esta ocasión se analizará las causas por las cuales ocurre el deslizamiento de rocas y suelos estratificados al mismo tiempo dar una solución para la estabilidad de taludes en la zona.

A la hora de estudiar estos fenómenos, es necesario tener en cuenta que los taludes aparentemente estables, pueden tornarse inestables en condiciones de saturación bajo los efectos del movimiento de suelos y nuevas condiciones de estabilidad. Por esta razón, sin estudiarlo, no es posible determinar con seguridad si un talud será estable o inestable.

Schuster y Kockelman (1996) propone una serie de principios generales y metodologías para la reducción de amenazas de deslizamientos utilizando sistemas de prevención .no es posible la eliminación total de los problemas mediante métodos preventivos; en todos los casos se requiere establecer medidas de control para la estabilización de taludes estratificados susceptibles a sufrir deslizamientos o deslizamientos activos.

En la siguiente imagen muestra la inestabilidad de un talud en la zona de estudio.

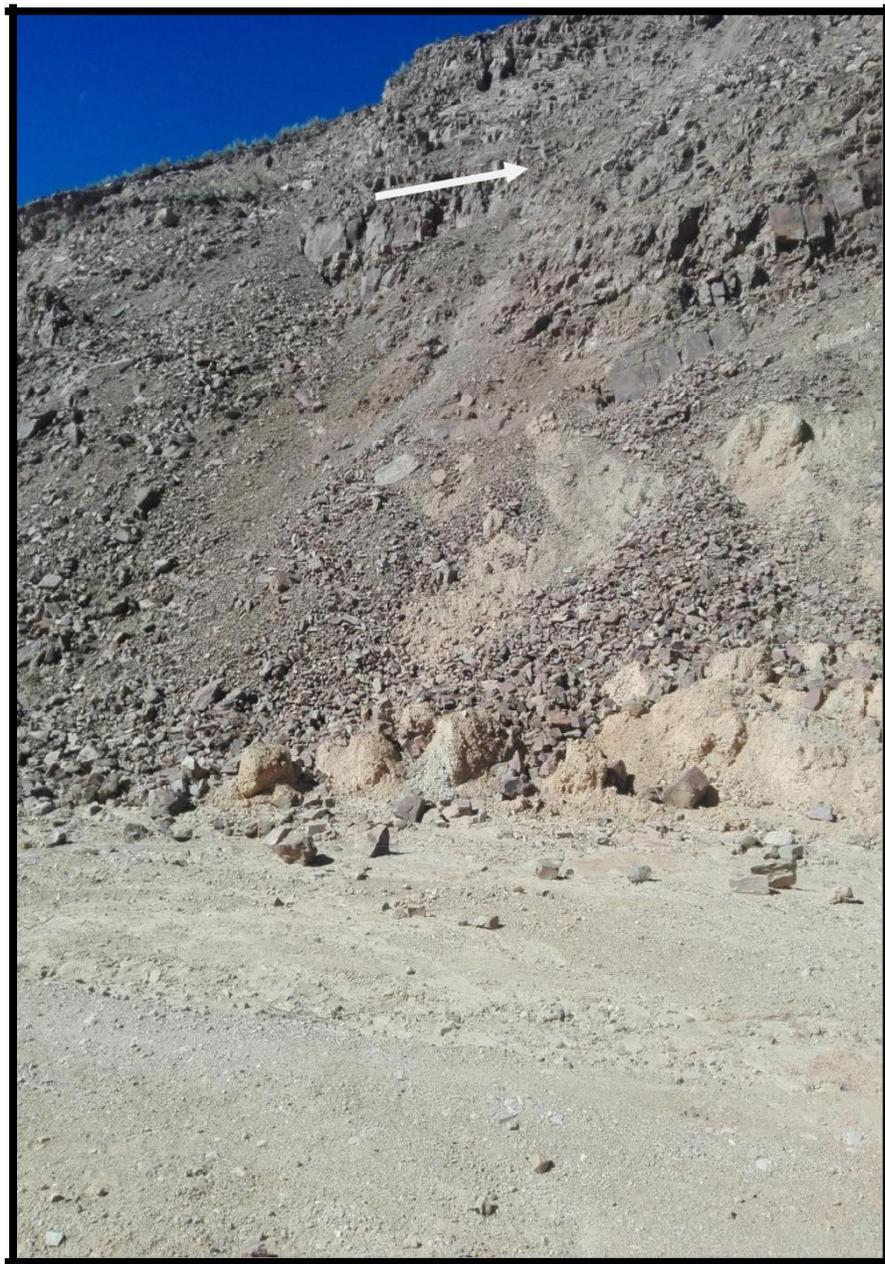
Figura 3.5. Talud estable



Fuente: Elaboración propia

Ahora se muestra un talud de manera inestable en la progresiva 10+000 a la 10+550 donde se diferencia y se ve a simple vista los distintos estratos en los taludes que presenta esta parte lateral derecha del tramo a estudiar.

Figura 3.6. Talud estratificado inestable



Fuente: Elaboración propia

3.4. Determinación de factores para el estudio

3.4.1. Sondeos y ensayos de campo

3.4.1.1. Levantamiento topográfico

El presente estudio topográfico se lo tuvo que volver a realizar ya que la empresa encargada en diseño de la carretera no pudo facilitarme los datos de la topografía de la zona de estudio por distintos motivos.

Se realizó el levantamiento topográfico de la zona de estudio para poder determinar la altura y pendiente de los taludes, utilizando una estación total digital la cual nos permitió recopilar datos estratégicos de ambos taludes tanto de la parte derecho como izquierdos, al mismo tiempo con ayuda de dos prismas y con ayuda de dos personas se pudo realizar un trabajo de levantamiento de datos más topográficos más exacto, para de ahí llevarlos a laboratorio y generar con estos datos curvas de nivel y los diferentes cortes transversales y poder dar una mejor visión de cómo se encuentran los taludes.

Figura 3.7. “GPS” Instrumento de levantamiento geodésico y topográfico



Fuente: Elaboración propia

El levantamiento geométrico se realizó cada 20 metros mediante triangulación realizando puntos de disparo con el aparato topográfico y con ayuda del prisma al centro de la carretera, al ras de la cuneta, al inicio de la berma del talud, al inicio del

pie del talud, al centro del talud y por último en la cabeza o cima del talud, para ambos lados de la carretera si es que así lo requería en caso de haber taludes paralelos este proceso se hizo en el trascurso de todo el tramo y así con estos datos poder tener una mejor geometría y detalle de los taludes a estudiar.

Figura 3.8. Prisma circular y bastón de levantamiento topográfico



Fuente: Elaboración propia

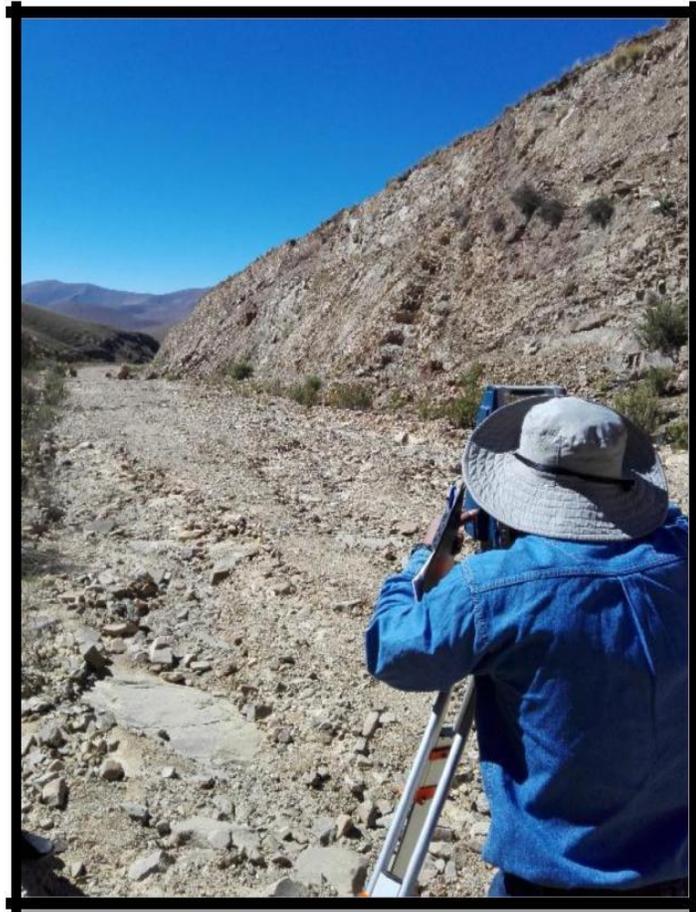
Al mismo tiempo mediante la ayuda de un aparato “GPS” pudimos obtener coordenadas, (x, y, z) para dar inicio del primer punto de referencia y así mismo comenzar con el del levantamiento topográfico y obtención de datos.

EL GPS que es un sistema que permite determinar en toda la Tierra la posición de un objeto (una persona, un vehículo) con una precisión de hasta centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión.

El sistema fue desarrollado, instalado y empleado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Para determinar las posiciones en el globo, el sistema GPS se sirve de 24 satélites y utiliza la trilateración.

El GPS funciona mediante una red de 24 satélites en órbita sobre el planeta Tierra, a 20 200 km de altura, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda su superficie.

Figura 3.9. Levantamiento topográfico con estación total



Fuente: Elaboración propia

Con la ayuda de una picota se pudo realizar la extracción de muestra de la capa superior del talud ya que este presentaba un terreno blando entre arcillas limos y rocas granulares o rotas en pequeños fragmentos, las cuales iban hacer guardadas en una bolsa de muestra para estas llevar al laboratorio y hacer un análisis y clasificación de la misma.

El mismo procedimiento se realizó para conseguir la muestra de capa media del talud a diferencia de la primera que está ya presentaba un terreno más duro por lo que se presentaba un tipo de roca que más adelante se muestra la clasificación de la misma.

Figura 3.10. Extracción de muestra de los taludes capa superficial



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11. Extracción de muestra del centro del talud



Fuente: Elaboración propia

Para el pie del talud se sacó fragmentos de roca ya que este presenta un terreno mucho más duro que el del centro del talud y con la misma ayuda de una picota se sacó muestras para estas llevar al laboratorio y hacer los ensayos que nos exige el tema de

proyecto ya que este tipo de roca se presentaba en todo el tramo de análisis y con estas muestras se tendría q realizar una clasificación de rocas que adjunto a mis anexos, ya que el Servicio departamental de caminos “SEDECA” hizo un sondeo geológico y geotécnico de la zona junto a las empresas “Kadesh” y esta me pudo facilitar la clasificación de los distintos tipos de estratos rocosos.

3.5. Ensayos de laboratorio

3.5.1. Clasificación de suelos

Para la clasificación de suelos se extrajo un poco de muestra en tres capsulas o “taras diferentes”, se pesó cada una de ellas en la balanza eléctrica, obteniendo el peso del suelo húmedo más el peso de la “tara” este procedimiento se realizó para los distintos tipos de estratos. Una vez realizado este procedimiento se introdujo las muestras al horno a una temperatura de 200°C y se las dejo durante 24 horas en el horno para que puedan ser secadas. Al día siguiente se extrajo las muestras del horno y se volvió a pesar obteniendo el dato de la muestra de suelo seco + capsula. Después llevarlos a las planillas y mediante estos datos obtenidos en laboratorio determinar la clasificación de los suelos con se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3. Clasificación de suelos

Humedad natural			
Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula	189,4	157,7	149,10
Peso de suelo seco + Cápsula	180,50	149,30	142,20
Peso de cápsula	17,4	22,7	21,00
Peso de suelo seco	163,10	126,60	121,20
Peso del agua	8,90	8,40	6,90
Contenido de humedad	5,46	6,64	5,69
Promedio	5,93		

Clasificación del suelo	SUCS: SC
Descripción	Arena o suelo arenoso con presencia de

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Granulometría

Luego de la toma de muestras se pesó aproximadamente 2000 gr. del material para luego tamizarlo.

Se realizó el método del lavado utilizando el tamiz N° 200 y se introdujo la muestra pesada de 2000 gr, en el tamiz, para el primer estrato del talud (capa superficial). Este método que consiste en lavar la muestra pesada utilizando el tamiz N° 200. Y una vez obtenida esta muestra limpia y lavada se procede a depositar en el horno de secado. Como se muestra en la figura 3.12, dejando la muestra 24 horas en el horno.

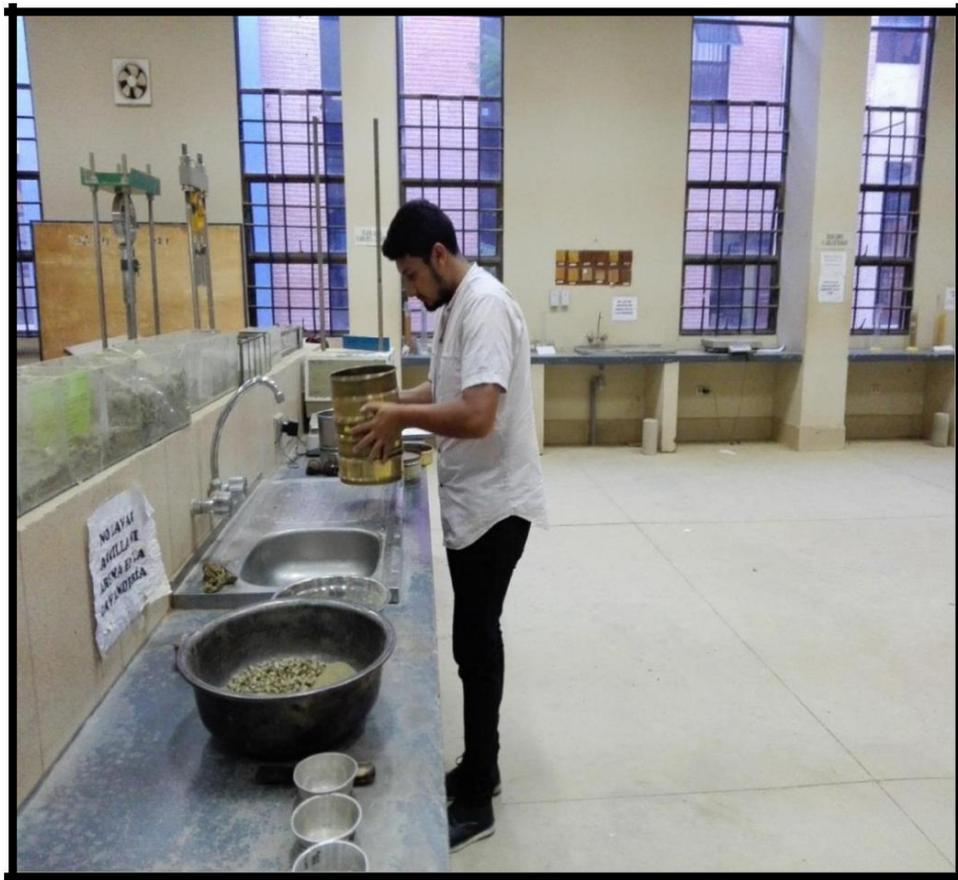
Figura 3.12. Secado de muestra después de ser lavada



Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la muestra del horno ya seca, se procede al tamizado de la misma utilizando diferentes tipos de tamices de acuerdo al tipo de muestra q se obtenga. En nuestro caso utilizamos desde el tamiz N° 1 ½ hasta el tamiz N° 200. Y se procedió al tamizado de manera manual, separando el agregado grueso del fino ya que en este procedimiento no existía mucho material fino por que el proceso del lavado hacía de que estos se eliminen.

Figura 3.13. Tamizado con la muestra seca después de ser lavada



Fuente: Elaboración propia

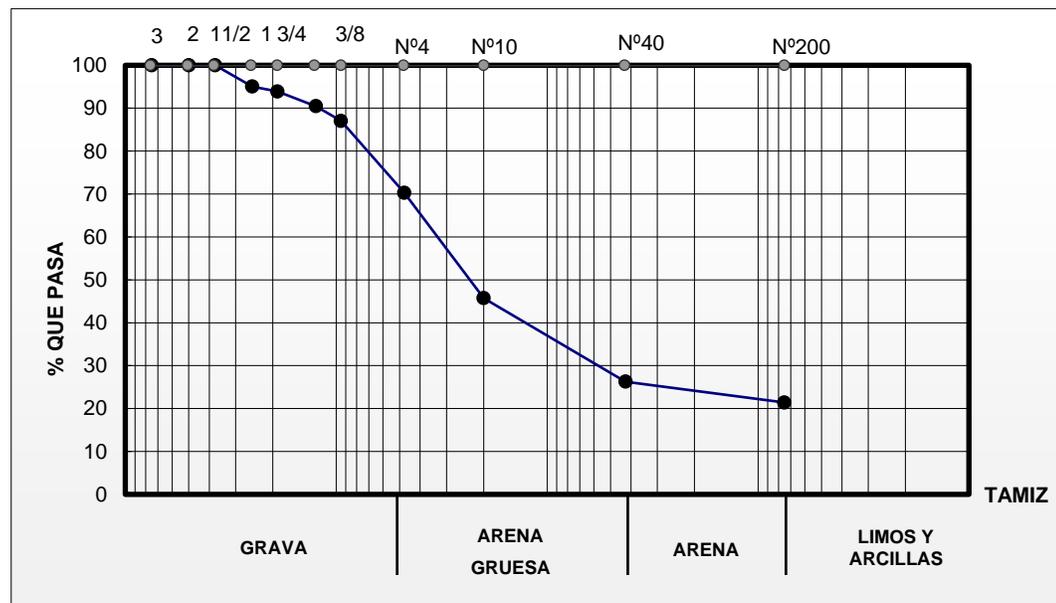
Una vez tamizado se procede a pesar el material retenido en cada tamiz este con ayuda de un plato o fuente dependiendo la cantidad del estrato que se retenga. Y con estos datos obtenidos se procede al calcular y determinar la curva granulométrica como se muestra en la figura 3.13 cabe recalcar que este proceso se lo realizo para los distintos tramos del talud analizado.

Tabla 4. Valores de granulometría

Peso Total (gr.)			2000	A.S.T.M.	
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret	% Que Pasa del Total
3"		0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	98,90	98,90	4,95	95,06
3/4"	19,00	22,70	121,60	6,08	93,92
1/2"	12,50	68,90	190,50	9,53	90,48
3/8"	9,50	68,80	259,30	12,97	87,04
Nº4	4,75	335,40	594,70	29,74	70,27
Nº10	2,00	490,50	1085,20	54,26	45,74
Nº40	0,425	389,10	1474,30	73,72	26,29
Nº200	0,075	97,40	1571,70	78,59	21,42

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14. Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia

Es muy útil determinar la granulometría conociendo la proporción en la que interviene los distintos tamaños de partículas en una porción de suelo.

3.5.3. Límites de Atterberg

La siguiente realización de la práctica se lo ha dividido en dos partes que son:

3.5.3.1. Límite líquido

Se procedió a pasar cierta cantidad de material a través del tamiz No 40, el cual se utilizó para determinar el límite líquido y el límite plástico.

A continuación, se verificó si el aparato de Casagrande estaba debidamente calibrado. Se colocó el material tamizado en un recipiente de porcelana, se añadió un poco de agua y se mezcló cuidadosamente con el suelo hasta lograr una pasta uniforme y una apariencia cremosa.

Se procedió a colocar dentro de la cazuela una pequeña cantidad de suelo hasta la profundidad adecuada para el trabajo de la herramienta ranuradora, a continuación se emparejo la superficie de la pasta de suelo cuidadosamente con una espátula, y mediante el uso de la herramienta ranuradora, se cortó una ranura clara, recta, que separo completamente la masa del suelo en dos partes, luego se hizo el conteo de golpes hasta que la masa se cerró en una ancho entre los extremos del corte de la ranuradora de 1 cm.

Se tomó una muestra para medir el contenido de humedad, se coloca en una tara la zona donde se cerró la ranura, se procedió a pesar la tara con el material y se lo seco en una hornilla. Luego de secado se procedió a su pesaje correspondiente, siendo el resultado el peso de la muestra seca más la tara. Este procedimiento se repitió en su totalidad con cinco muestras del mismo suelo, pero con diferentes contenidos de humedad.

3.5.3.2. Límite plástico

Se colocó el mismo material tamizado del ensayo anterior en un recipiente de porcelana se añadió agua al suelo, se mezcló cuidadosamente hasta obtener una textura uniforme y cremosa más o menos como una plastilina.

Se dividió en varios pedazos o porciones pequeñas la muestra, con la mano extendida sobre una placa de vidrio enrollando el suelo con presión suficiente para moldearlo en forma de cilindro o hilo de diámetro uniforme por la acción de los movimientos de la mano.

Cuando el diámetro del cilindro llegó a 3 mm., se volvió a moldear y enrollar nuevamente con otra porción de suelo, este proceso se hizo hasta que el cilindro de suelo se rompió bajo la presión del enrollamiento y la fricción que se ejercía en la muestra.

La muestra o el cilindro, que se rompió nos definen el límite plástico, luego este cilindro se colocó en una tara previamente pesada, efectuando el pesaje de la tara más el cilindro de suelo, luego se secó la muestra en una hornilla para calcular el contenido de humedad de la muestra. Estas muestras obtenidas por la frotación del vidrio cilindrado se colocaron 3 a 5 muestras en 3 taras diferentes y se procedió a su pesado en húmedo, después fue llevado a un horno.

Figura 3.15. Contenido de humedad



Fuente: Elaboración propia

Una vez que la muestra se secó se procedió a su pesaje y la obtención del peso de la muestra seca más la tara

Este mismo procedimiento se realizó para los diferentes taludes y se realizó el ensayo utilizando material de la capa superficial del talud y en algunos casos con el centro del talud.

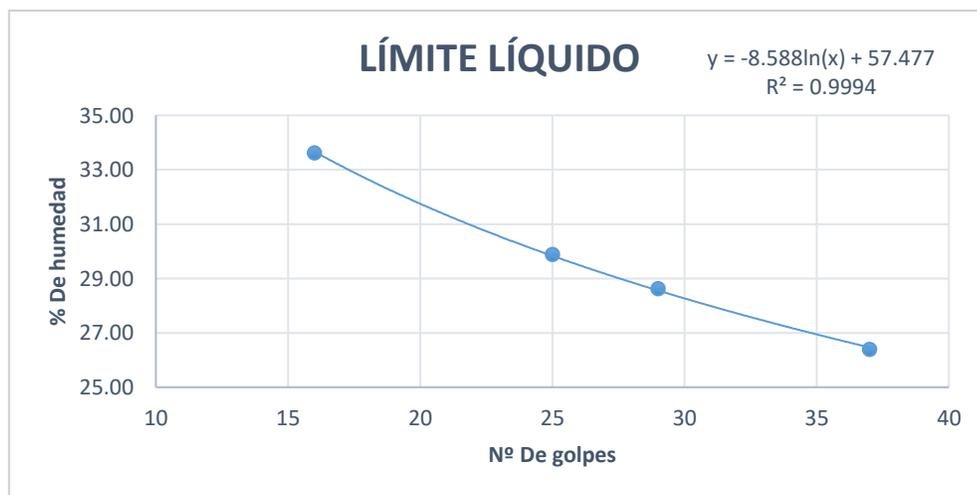
Cálculo de los límites líquidos como plásticos de acuerdo a los datos obtenidos en laboratorio.

Tabla 5. Límites de Atterberg

Capsula N°	1	2	3	4
N° de golpes	16	25	29	37
Suelo Húmedo + Cápsula	49,00	53,30	54,00	57,40
Suelo Seco + Cápsula	41,20	45,50	46,50	49,80
Peso del agua	7,80	7,80	7,50	7,60
Peso de la Cápsula	18	19,4	20,30	21
Peso Suelo seco	23,20	26,10	26,20	28,80
Porcentaje de Humedad	33,62	29,89	28,63	26,39

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.16. Curva grafica limite líquido



Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Límites plásticos

Determinación del límite plástico			
Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula	18,60	19,50	22,10
Peso de suelo seco + Cápsula	18,20	18,60	21,70
Peso de cápsula	14,40	10,20	12,60
Peso de suelo seco	3,80	8,40	9,10
Peso del agua	0,40	0,90	0,40
Contenido de humedad	10,53	10,71	4,40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Determinación de los límites

Factores de curva	
8,588	57,477

Límite Líquido (LL)	30
Límite Plástico (LP)	23
Índice de plasticidad (IP)	7
Índice de Grupo (IG)	0

Fuente: Elaboración propia

3.5.3.3. Ensayo de corte directo**Procedimiento**

Para la obtención de los especímenes se tamizó una muestra de cada estrato la parte media y la parte superior del talud una vez obtenida la muestra se tamizó por el tamiz N° 10, donde con lo que pasaba el tamiz se hizo una pequeña compactación utilizando un combo de goma y un molde cilíndrico y uno cuadrado con dimensiones de 6*6 cm y una altura de 2,5 cm.

Figura 3.17. Modelo para realizar el corte de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Se procedió a su pesaje y se ensambla en la caja de corte, se saturan las piedras porosas se mide la caja para calcular su área de la muestra, se coloca la muestra en la caja de corte, las piedras porosas el pistón de carga sobre el suelo, la carga P_v se ajusta el deformímetro vertical. por lo cual se lo aplico cargas de 1 kg, 2kg y 2 kg y se lo dejo saturando hasta el otro día.

Al día siguiente se toma la lectura en los extensómetros, para luego proceder al funcionamiento del equipo y se anota las lecturas se toman a emplazamiento horizontales lecturas verticales y lecturas en el anillo de carga.

Al finalizar el ensayo, se lo pesa en un plato para luego poner al horno determinar su contenido de humedad.

Figura 3.18. Equipo de consolidación y corte directo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.19. Corte directo después de la saturación



Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos todos los datos se procede a determinar la cohesión y el ángulo de corte.

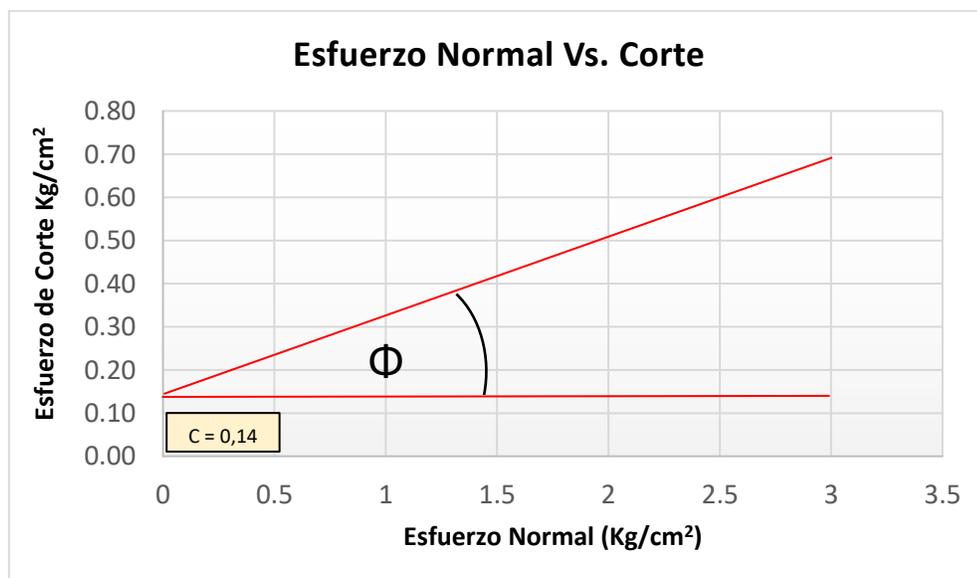
Tabla 8. Valores para determinar la cohesión

Lectura ext, Horizontal	Lectura ext, Vertical		Lectura anillo de carga		Deformación horizontal	Deformación vertical		Fuerza de corte [kg]		Esfuerzo cortante	
	2,00	3,00	2,00	3,00		2,00	3,00	2,00	3,00	2,00	3,00
0	15	5	5,0	7	0,0000	0,000	0,000	0	0	0	0
10	50	25	6,0	9,5	0,00254	0,001	0,001	8,89	11,84	0,25	0,33
20	80	50	8,0	10,5	0,00508	0,002	0,001	10,58	12,69	0,29	0,35
30	105	72	9,0	11,5	0,00762	0,003	0,002	11,42	13,53	0,32	0,38
40	127	94	9,0	12,5	0,01016	0,003	0,002	11,42	14,37	0,32	0,40
50	145	113	10,0	13,0	0,01270	0,004	0,003	12,27	14,79	0,34	0,41
60	166	133	10,0	14,7	0,01524	0,004	0,003	12,27	16,23	0,34	0,45
70	186	154	10,0	15,4	0,01778	0,005	0,004	12,27	16,82	0,34	0,47
80	205	169	11,0	16,3	0,02032	0,005	0,004	13,11	17,58	0,36	0,49
90	223	184	11,0	17,0	0,02286	0,006	0,005	13,11	18,17	0,36	0,50
100	240	195	11,5	17,6	0,02540	0,006	0,005	13,53	18,67	0,38	0,52
110	253	207	12,0	18,2	0,02794	0,006	0,005	13,95	19,18	0,39	0,53
120	263	219	12,0	18,9	0,03048	0,007	0,006	13,95	19,77	0,39	0,55
130	281	231	12,5	19,2	0,03302	0,007	0,006	14,37	20,02	0,40	0,56
140	299	244	13,0	19,5	0,03556	0,008	0,006	14,79	20,27	0,41	0,56
150	304	254	13,0	20,1	0,03810	0,008	0,006	14,79	20,78	0,41	0,58
160	318	264	13,5	20,5	0,04064	0,008	0,007	15,22	21,12	0,42	0,59
170	330	276	14,0	21,1	0,04318	0,008	0,007	15,64	21,62	0,43	0,60
180	338	289	14,0	21,7	0,04572	0,009	0,007	15,64	22,13	0,43	0,61
190	346	299	14,0	21,9	0,04826	0,009	0,008	15,64	22,30	0,43	0,62
200	355	309	14,5	21,9	0,05080	0,009	0,008	16,06	22,30	0,45	0,62
210	364	316	14,5	21,9	0,05334	0,009	0,008	16,06	22,30	0,45	0,62
220	373	325	15,0	22,1	0,05588	0,009	0,008	16,48	22,47	0,46	0,62
230	380	332	15,0	22,6	0,05842	0,010	0,008	16,48	22,89	0,46	0,64
240	385	339	15,0	23,0	0,06096	0,010	0,009	16,48	23,22	0,46	0,65
250	391	347	15,0	23,4	0,06350	0,010	0,009	16,48	23,56	0,46	0,65
250	397	354	15,5	23,9	0,06350	0,010	0,009	16,90	23,98	0,47	0,67
250	404	360	15,5	24,0	0,06350	0,010	0,009	16,90	24,07	0,47	0,67
250	409	366	16,0	24,2	0,06350	0,010	0,009	17,32	24,24	0,48	0,67
260	413	373	16,0	24,3	0,06604	0,010	0,009	17,32	24,32	0,48	0,68
270	417	379	16,0	24,5	0,06858	0,011	0,010	17,32	24,49	0,48	0,68
280	423	382	16,5	24,6	0,07112	0,011	0,010	17,74	24,57	0,49	0,68
290	426	387	16,5	24,7	0,07366	0,011	0,010	17,74	24,66	0,49	0,68
300	430	390	16,5	24,7	0,07620	0,011	0,010	17,74	24,66	0,49	0,68
310	434	395	16,5	24,7	0,07874	0,011	0,010	17,74	24,66	0,49	0,68
320	438	397	16,5	24,7	0,08128	0,011	0,010	17,74	24,66	0,49	0,68
330	441	400	16,5	24,7	0,08382	0,011	0,010	17,74	24,66	0,49	0,68

340	444	401	16,5	24,7	0,08636	0,011	0,010	17,74	24,66	0,49	0,68
350	447	411	17,0	24,7	0,08890	0,011	0,010	18,17	24,66	0,50	0,68
360	450	419	17,0	24,7	0,09144	0,011	0,011	18,17	24,66	0,50	0,68
370	454	421	17,0	24,8	0,09398	0,012	0,011	18,17	24,74	0,50	0,69
380	458	425	17,0	24,8	0,09652	0,012	0,011	18,17	24,74	0,50	0,69
390	461	428	17,0	24,8	0,09906	0,012	0,011	18,17	24,74	0,50	0,69
400	465	430	17,0	24,8	0,10160	0,012	0,011	18,17	24,74	0,50	0,69
410	469	435	17,0	24,8	0,10414	0,012	0,011	18,17	24,74	0,50	0,69
420	473	440	17,0	24,8	0,10668	0,012	0,011	18,17	24,74	0,50	0,69
430	477	444	17,0	24,8	0,10922	0,012	0,011	18,17	24,74	0,50	0,69
440	480	448	17,0	24,8	0,11176	0,012	0,011	18,17	24,74	0,50	0,69
450	483	451	17,0	24,8	0,11430	0,012	0,011	18,17	24,74	0,50	0,69
460	486	456	17,0	24,8	0,11684	0,012	0,012	18,17	24,74	0,50	0,69
470	489	459	17,0	24,8	0,11938	0,012	0,012	18,17	24,74	0,50	0,69
480	482	464	17,0	24,8	0,12192	0,012	0,012	18,17	24,74	0,50	0,69
490	495	468	17,0	24,8	0,12446	0,013	0,012	18,17	24,74	0,50	0,69
500	499	471	17,0	24,8	0,12700	0,013	0,012	18,17	24,74	0,50	0,69
510	501	475	17,0	24,8	0,12954	0,013	0,012	18,17	24,74	0,50	0,69
520	504	478	17,0	24,8	0,13208	0,013	0,012	18,17	24,74	0,50	0,69
530	507	480	17,0	24,8	0,13462	0,013	0,012	18,17	24,74	0,50	0,69
540	509	482	15,0	24,8	0,13716	0,013	0,012	16,48	24,74	0,46	0,69
550	511	484	14,5	24,5	0,13970	0,013	0,012	16,06	24,49	0,45	0,68
560	512	485	14,0	24,2	0,14224	0,013	0,012	15,64	24,24	0,43	0,67

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.20. Cohesión y ángulo de fricción



Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Esfuerzo normal y de corte

Esfuerzo Normal Kg	Esfuerzo de Corte Kg/cm ²
2	0,50
3	0,69

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Cálculo de cohesión y esfuerzo de corte

Cohesión	Φ
0,14	10

Fuente: Elaboración propia

3.5.4. Resumen de ensayos de laboratorio**Tabla 11. Resumen de los datos finales de cálculo**

Talud	Límites de Atterberg		Corte directo		Clasificación		Compresión Simple
	Limite Líquido	Limite Plástico	Cohesión	Ángulo fricción	SUCS	AASHTO	Resistencia Kg/cm ²
1° tramo	30	23	0,14	10	SC	A-2-4	Medio 163,58
							Pie 1172,41
2° tramo	24	17	0,09	12	SC	A-2-4	Medio 179,73
							Pie 937,74
3° tramo	26	15			SC	A-2-6	Medio 51,22
							Pie 79,46

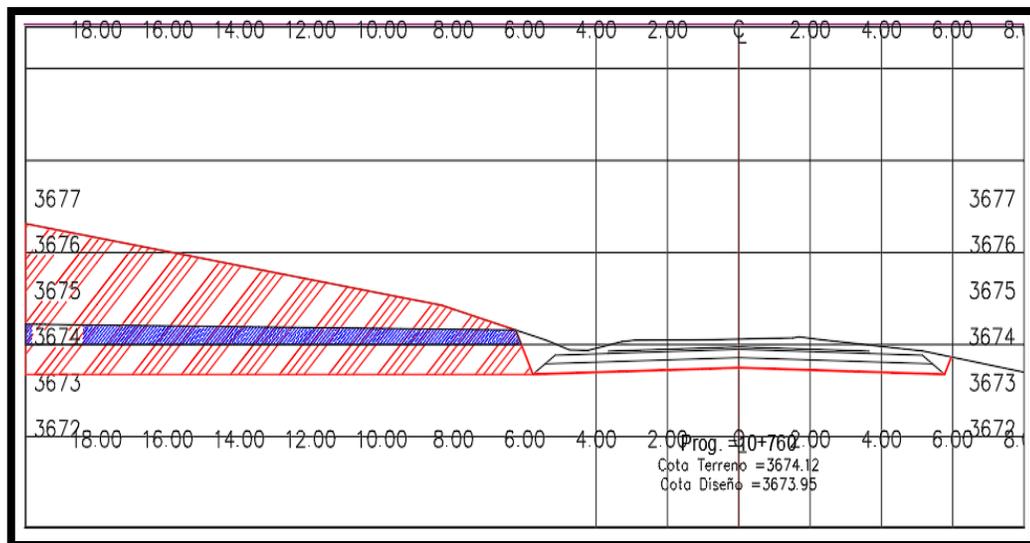
Fuente: Elaboración propia

3.5.5. Selección de los parámetros de cálculo para el programa Slide 6.0

Para la realización del programa Slide 6.0 que nos determina la falla geológica del talud estudiado se procede a realizar el siguiente procedimiento:

Se realizó el levantamiento topográfico y de detalles para poder determinar mediante curvas de nivel y los cortes transversales una mejor visión de los taludes, como se muestra en la figura 3.21.

Figura 3.21. Corte transversal para determinar la falla en el talud



Fuente: Elaboración propia

Para poder generar estos puntos y coordenadas se determinó una importación de datos para pasar al programa Civil 3D y empezar con el trabajo requerido.

Una vez obtenido los datos y los perfiles estos se proceden enmarcar con una polilínea delimitando de a poco el talud.

Ya con los datos y coordenadas obtenidas en el paso anterior, estas se proceden a llevar a Excel “coordenadas x, y, z”. Y de ahí empezar con el trabajo del programa planteado.

Una vez ya realizado los dos puntos anteriores se procede a la introducción de datos para determinar la falla del talud y a su vez dar una mejor solución para evitar deslizamientos.

Tabla 12. Recopilación de datos topográficos en campo

Número	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Código
263	7611588,6202	288914,3998	3859,3751	"T"
264	7611585,6800	288917,1411	3859,5425	"T"
265	7611588,6834	288912,7601	3860,2470	"T"
266	7611589,0103	288910,5849	3860,8197	"T"
267	7611578,0097	288919,1394	3860,0916	"T"
268	7611577,2788	288916,5550	3860,3124	"T"
269	7611554,9987	288910,9241	3861,8589	"T"
270	7611554,3216	288921,8491	3861,7824	"T"
271	7611554,7250	288909,0781	3863,0246	"T"
272	7611551,7807	288914,6613	3862,2001	"T"
273	7611554,9992	288906,1983	3863,4969	"T"
274	7611518,7792	288914,3315	3864,7213	"T"
275	7611518,3879	288911,1006	3864,6241	"T"
276	7611517,8583	288924,3686	3864,9213	"T"
277	7611518,3645	288909,9396	3865,3777	"T"
278	7611518,0726	288907,6775	3865,6866	"T"
279	7611475,9631	288921,1498	3867,6427	"T"
280	7611475,1727	288916,4903	3867,5990	"T"

Fuente: Elaboración propia

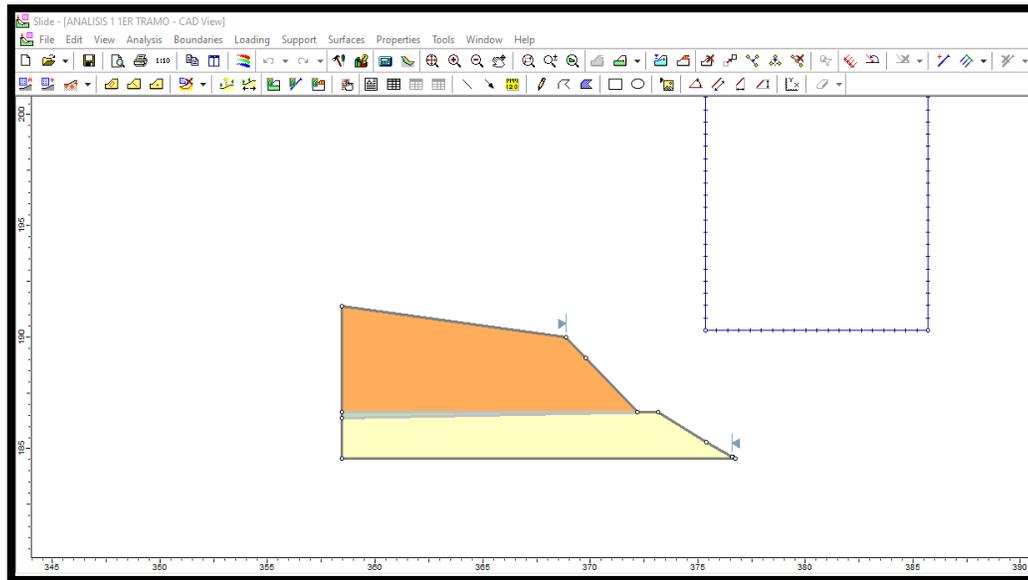
La figura 3.22 nos muestra como se ve el talud una vez cargado las coordenadas obtenidas del Excel.

Para poder determinar el factor de seguridad del talud, tenemos que tomar en cuenta tres puntos fundamentales del laboratorio.

Mediante la clasificación de rocas obtenida de la empresa en construcción SEDECA. obtendremos un RQD, un dato para el llenado de la tabla.

Juntamente con el dato de los ensayos de corte directo podremos introducir los datos de la cohesión y el ángulo de fricción. Y como último dato tendremos que verificar el peso unitario de la muestra de acuerdo al estrato que corresponda.

Figura 3.22. Imagen después de delimitar el talud con los cortes



Fuente: Elaboración propia

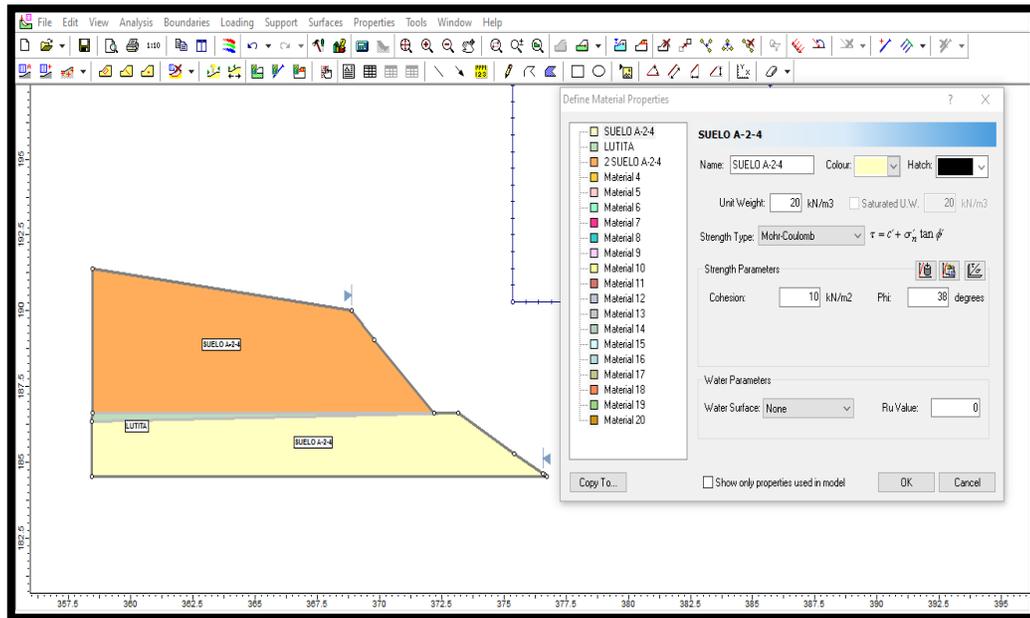
Tabla 13. Valores típicos de resistencias para rocas

Tipo de roca	Peso Unitario Seco KN/m ³	Cohesión (Mpa)	Ángulo de Fricción (θ)
Rocas Ígneas Duras: Granito Basalto	25-30	35-55	35-45
Rocas Metamórficas: Cuarzita, Neiss, Pizarras.	25-28	20-40	30-40
Rocas Duras: Sedimentarias Caliza Dolomita, Arenisca.	23-28	10-30	35-45
Rocas Blandas: Sedimentarias Arenisca Lutitas, Limolitas	17-23	1-20	25-35

Fuente. Sondeo geotécnico a cargo de SEDECA

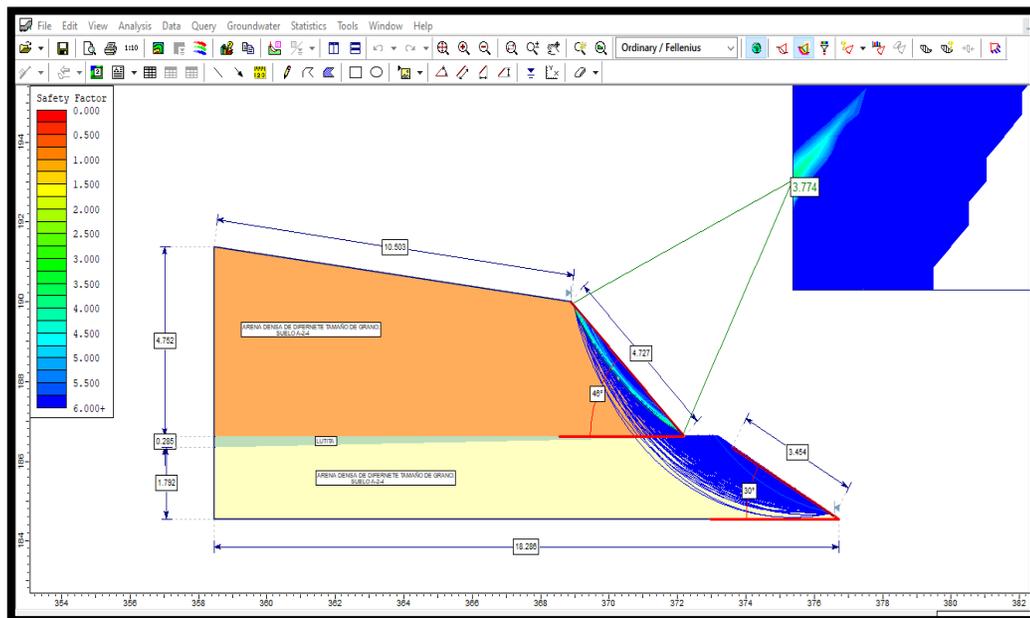
Con esta tabla proporcionada y con el ensayo de compresión simple determinamos el peso unitario de las rocas la cohesión y su Ángulo de fricción, datos que son necesarios para introducir al programa Slide 6.0 y poder determinar el factor de seguridad del talud.

Figura 3.23. Introducción de los datos de cohesión, ángulo de corte y peso unitario de las rocas



Fuente: Elaboración propia

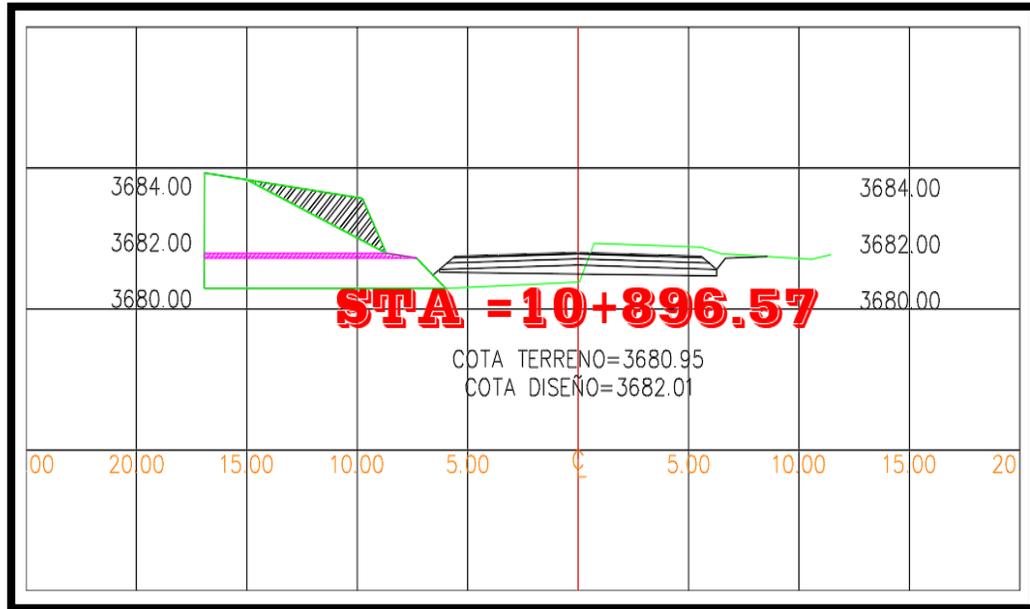
Figura 3.24. Factor de seguridad



Fuente: Elaboración propia

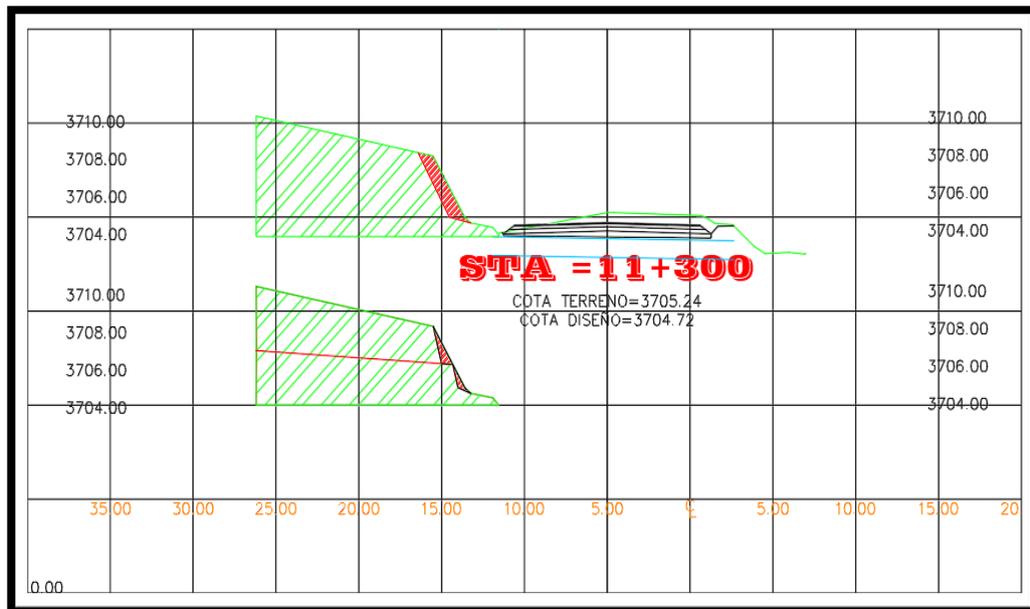
3.5.6. Perfiles de talud topográficos

Figura 3.25. Corte transversal del 1° punto



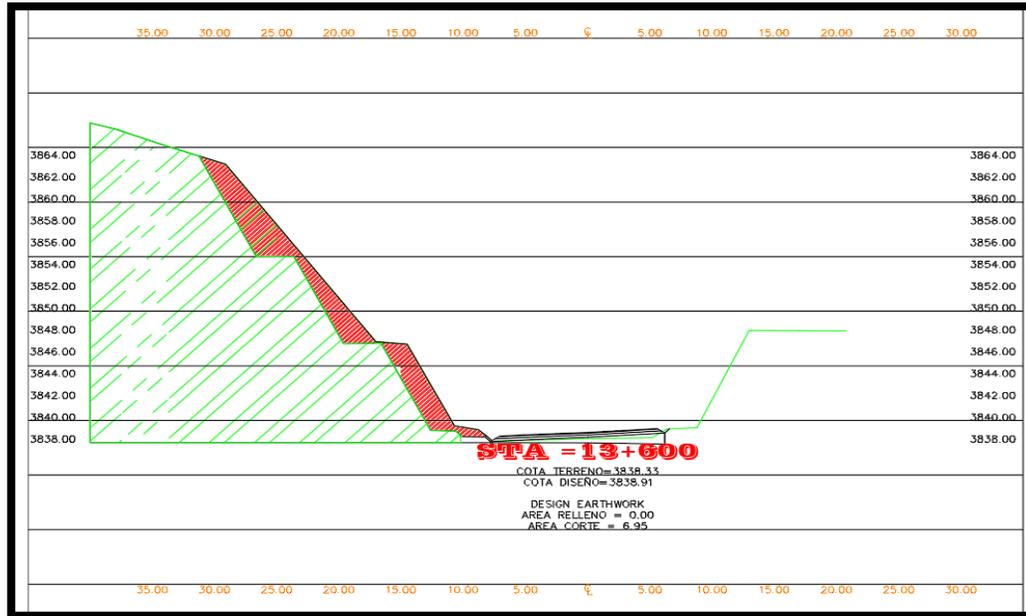
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.26. Corte transversal del 2° punto



Fuente: Elaboración propia

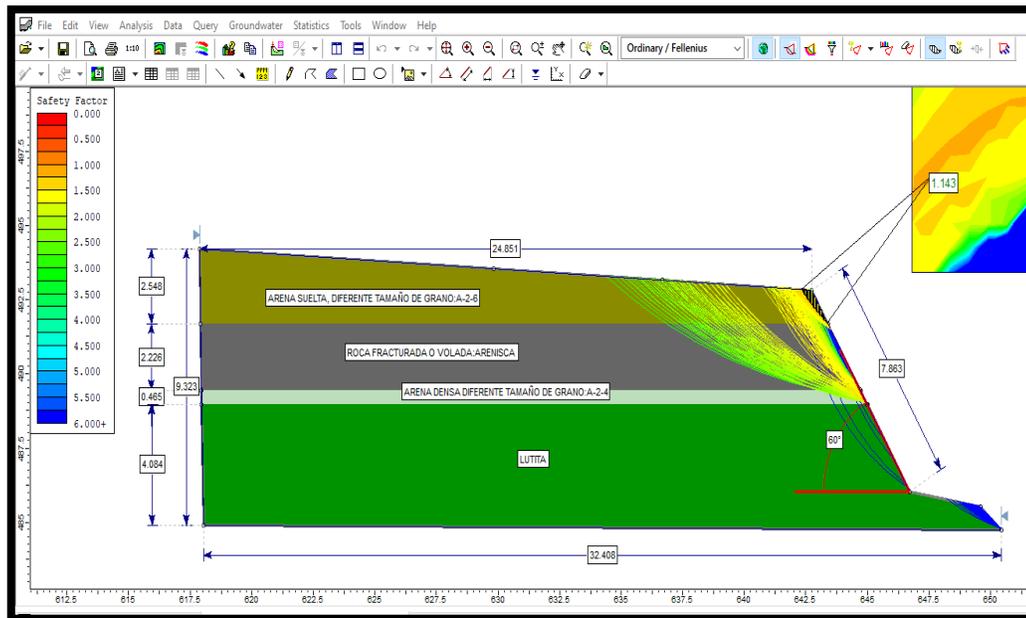
Figura 3.27 . Corte transversal del 3° punto



Fuente: Elaboración propia

3.5.7. Perfiles de talud con el programa Slide 6.0

Figura 3.28. Perfil del tercer punto antes de la falla



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

**ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE
TALUDES ESTRATIFICADOS**

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES ESTRATIFICADOS

4.1. Cálculo de los factores de seguridad con el programa Slide 6.0

El factor de seguridad que en su mayoría es inestable se verificará mediante banquinas o una simple pendiente, para que nuestro talud pueda subir su factor de seguridad se aplicara a la norma que rige los parámetros de taludes que dice: que un talud se considerara estable cuando su factor de seguridad sea mayor o igual a 1,5.

Para el análisis de la estabilidad se utilizó el software Slide 6.0, que permite el cálculo del factor de seguridad (FS), mediante el método de Morgenstern – Price, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1.1. Cálculo del talud 1 progresiva 10+760 -10+930

A continuación, se muestra los datos que son necesarios para realizar el análisis de estabilidad del talud.

Tabla 14: Datos de talud 1

Descripción	Unidad	Medida
Altura	4,67	m
Longitud	170	m
Ángulo de inclinación del Talud	70	°
Cohesión pie del talud	20	KN/m ²
Ángulo de fricción interna pie del talud	35	°
Peso específico pie del talud	20	KN/m ³
Clasificación pie del talud	Arena Densa A-2-4	CL
Cohesión cuerpo del talud	25	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cuerpo del talud	20	°
Peso específico cuerpo del talud	20	KN/m ³
Clasificación cuerpo del talud	Roca Fracturada lutita	CL
Cohesión cabeza del talud	0,14	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cabeza del talud	10	°
Peso específico cabeza del talud	20	KN/m ³
Clasificación cabeza del talud	A-2-4 (0)	CL

Fuente: Elaboración propia

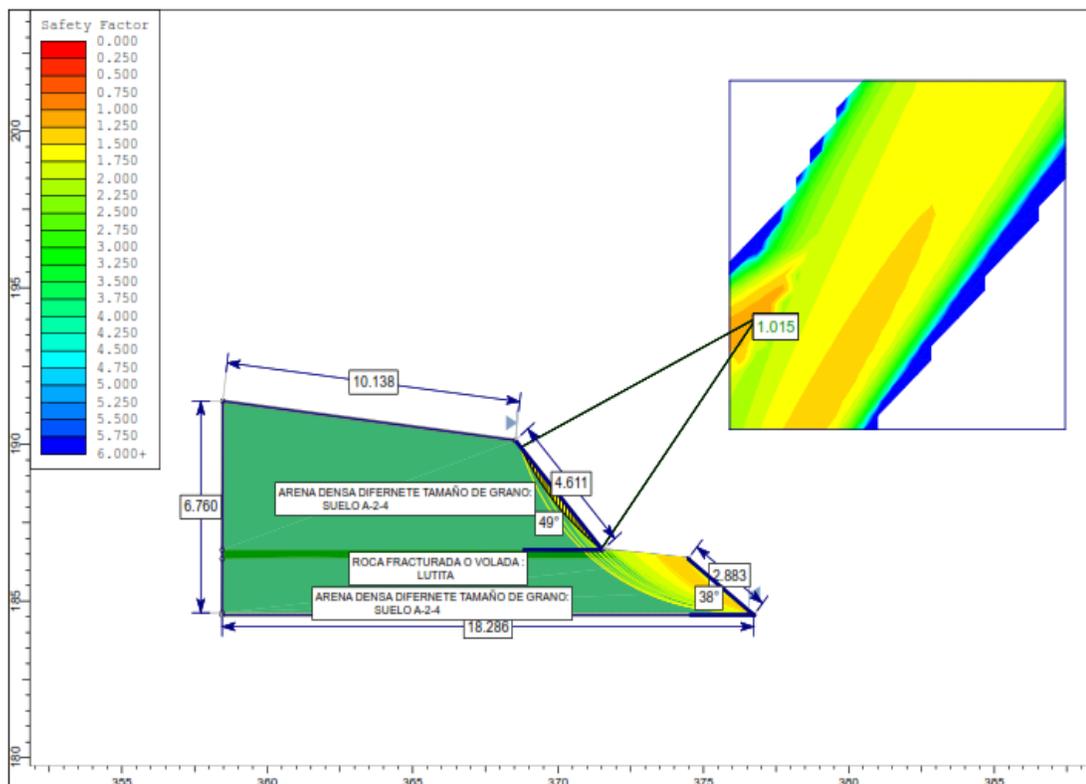
4.1.1.1. Análisis de la estabilidad del talud 1

Para el presente análisis de estabilidad se empleará el método preciso de Morgenstern – Price, ya que satisface rigurosamente las condiciones de equilibrio estático.

Como se puede apreciar en la figura el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable.

Según la geología del talud en estudio los posibles deslizamientos que se podrían producir son deslizamientos rotacionales y deslizamientos traslacionales, después de realizar el análisis de estabilidad y determinación del factor de seguridad y la superficie de falla se puede observar en la figura 4.1 que el posible deslizamiento corresponde a un movimiento rotacional, más precisamente una falla en el cuerpo del talud, este tipo de fallas ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento mecánico esté regido básicamente por su fracción arcillosa o rocosa.

Figura 4.1 Análisis del talud 1



Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Cálculo del talud 2 progresiva 11+300 -11+500

A continuación, se muestra los datos que son necesarios para realizar el análisis de estabilidad del talud.

Tabla 15: Datos de talud 2

Descripción	Unidad	Medida
Altura	4,27	m
Longitud	200	m
Ángulo de inclinación del Talud	59	°
Cohesión pie del talud	22	KN/m ²
Ángulo de fricción interna pie del talud	33	°
Peso específico pie del talud	17	KN/m ³
Clasificación pie del talud	Roca blanda limolita	CL
Cohesión cuerpo del talud	0,9	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cuerpo del talud	12	°
Peso específico cuerpo del talud	31	KN/m ³
Clasificación cuerpo del talud	A-2-4 (0)	CL
Cohesión cabeza del talud	23	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cabeza del talud	34	°
Peso específico cabeza del talud	27	KN/m ³
Clasificación cabeza del talud	Roca cuarcita	CL

Fuente: Elaboración propia

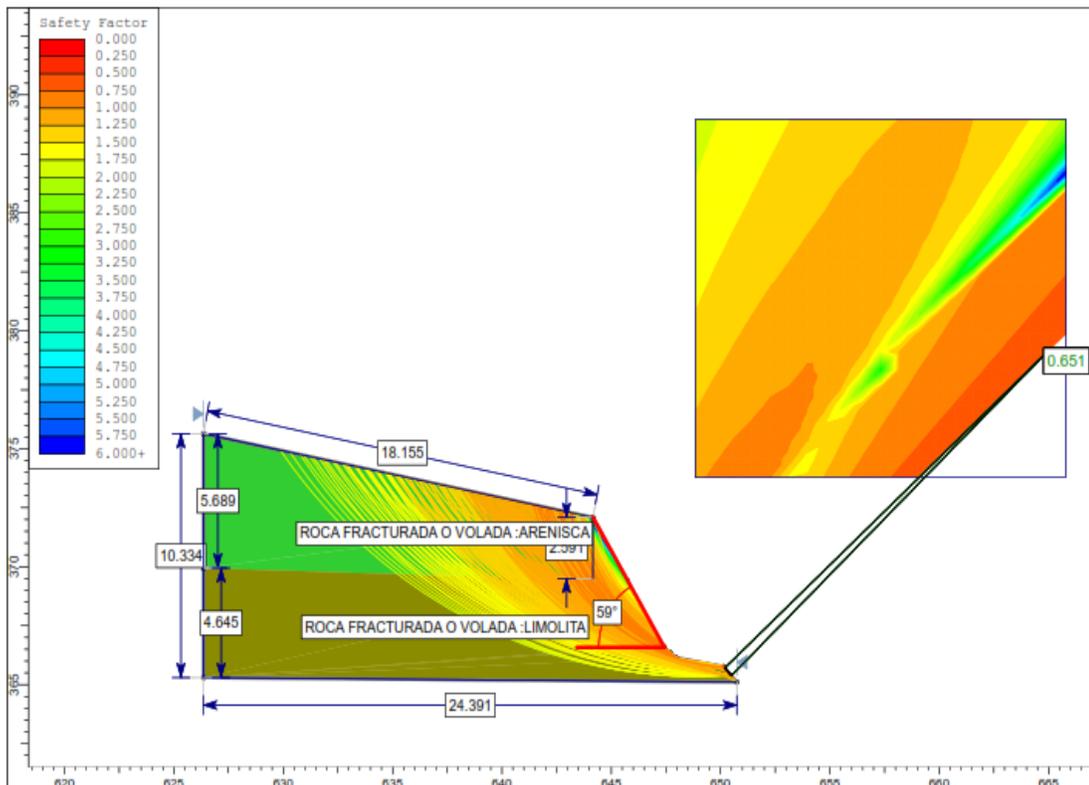
4.1.2.1. Análisis de la estabilidad del talud 2

Para el presente análisis de estabilidad se empleará el método preciso de Spencer ya que satisface rigurosamente las condiciones de equilibrio tanto de momentos como estáticos.

Como se puede apreciar en la figura anterior el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable. Según la geología del talud en estudio los posibles deslizamientos que se podrían producir son deslizamientos rotacionales y deslizamientos traslacionales, después de realizar el análisis de estabilidad y

determinación del factor de seguridad y la superficie de falla se puede observar en la figura 4.2 que el posible deslizamiento corresponde a un movimiento rotacional, más precisamente una falla en el pie del talud, este tipo de fallas ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento mecánico esté regido básicamente por su fracción arcillosa o rocosa.

Figura 4.2 Análisis del talud 2



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura anterior el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable.

4.1.3. Cálculo del talud 3 progresiva 11+800 -12+100

A continuación, se muestra los datos que son necesarios para realizar el análisis de estabilidad del talud.

Tabla 16: Datos de talud 3

Descripción	Unidad	Medida
Altura	7,86	m
Longitud	300	m
Ángulo de inclinación del Talud	60	°
Cohesión pie del talud	20	KN/m ²
Ángulo de fricción interna pie del talud	35	°
Peso específico pie del talud	20	KN/m ³
Clasificación pie del talud	Roca blanda lutita	CL
Cohesión cuerpo del talud	0,14	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cuerpo del talud	10	°
Peso específico cuerpo del talud	20	KN/m ³
Clasificación cuerpo del talud	A-2-4 (0)	CL
Cohesión cuerpo del talud	25	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cuerpo del talud	20	°
Peso específico cuerpo del talud	20	KN/m ³
Clasificación cuerpo del talud	Roca blanda arenisca	CL
Cohesión cabeza del talud	0,09	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cabeza del talud	12	°
Peso específico cabeza del talud	30	KN/m ³
Clasificación cabeza del talud	A-2-6 (0)	CL

Fuente: Elaboración propia

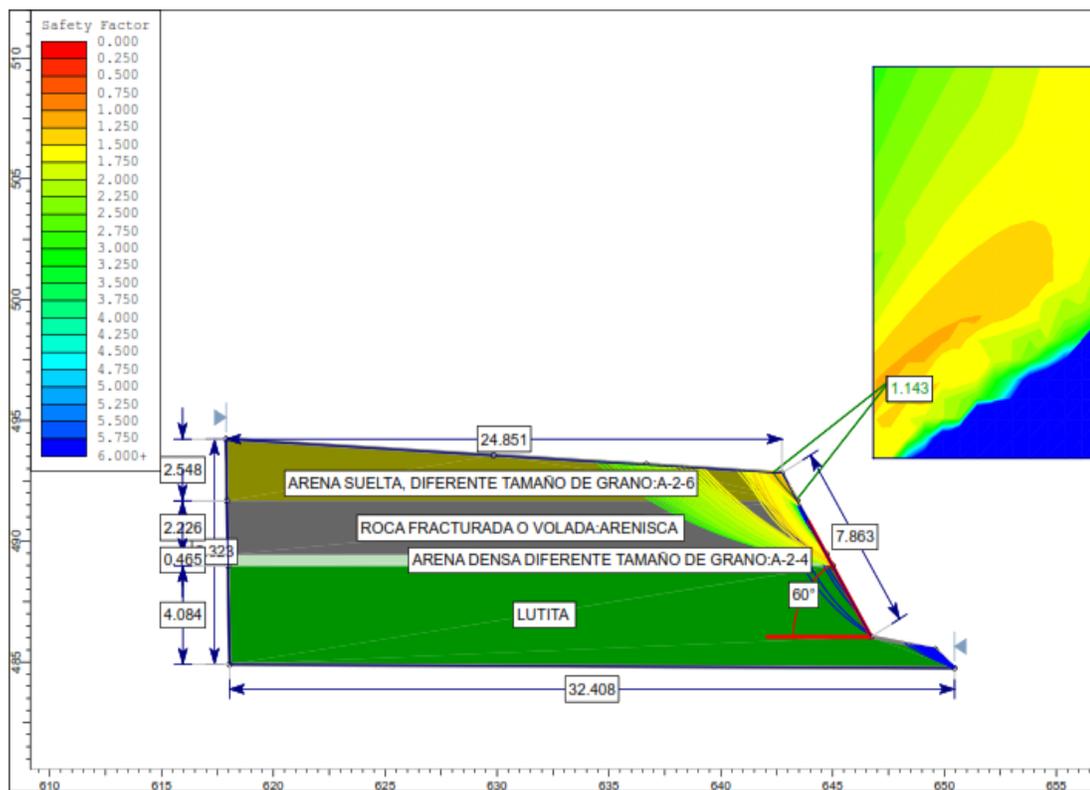
4.1.3.1. Análisis de la estabilidad del talud 3

Para el presente análisis de estabilidad se empleará el método preciso de Spencer ya que satisface rigurosamente las condiciones de equilibrio tanto de momentos como estáticos.

Como se puede apreciar en la figura el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable. Según la geología del talud en estudio los posibles

deslizamientos que se podrían producir son deslizamientos rotacionales y deslizamientos traslacionales, después de realizar el análisis de estabilidad y determinación del factor de seguridad y la superficie de falla se puede observar en la figura 4.3 que el posible deslizamiento corresponde a un movimiento rotacional, más precisamente una falla en la cabeza del talud, este tipo de fallas ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento mecánico esté regido básicamente por su fracción arcillosa o rocosa.

Figura 4.3 Análisis del talud 3



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura anterior el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable.

4.1.4. Cálculo del talud 4 progresiva 12+500 -12+930

A continuación, se muestra los datos que son necesarios para realizar el análisis de estabilidad del talud.

Tabla 17: Datos de talud 4

Descripción	Unidad	Medida
Altura	11,29	m
Longitud	430	m
Ángulo de inclinación del Talud	58	°
Cohesión pie del talud	18	KN/m ²
Ángulo de fricción interna pie del talud	28	°
Peso específico pie del talud	23	KN/m ³
Clasificación pie del talud	Roca blanda lutita	CL
Cohesión cuerpo del talud	15	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cuerpo del talud	42	°
Peso específico cuerpo del talud	26	KN/m ³
Clasificación cuerpo del talud	Roca blanda arenisca	CL
Cohesión cabeza del talud	31	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cabeza del talud	12	°
Peso específico cabeza del talud	0,09	KN/m ³
Clasificación cabeza del talud	A-2-4 (0)	CL

Fuente: Elaboración propia

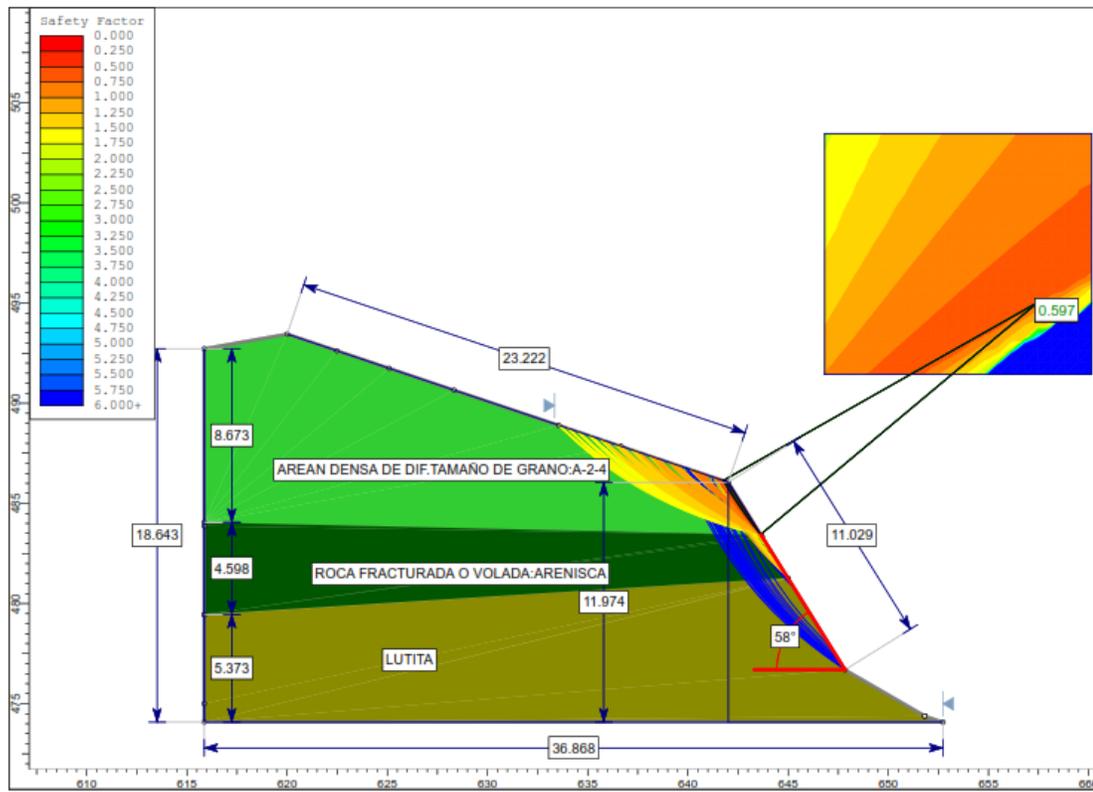
4.1.4.1. Análisis de la estabilidad del talud 4

Para el presente análisis de estabilidad se empleará el método preciso de Spencer ya que satisface rigurosamente las condiciones de equilibrio tanto de momentos como estáticos.

Como se puede apreciar en la figura el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable. Según la geología del talud en estudio los posibles deslizamientos que se podrían producir son deslizamientos rotacionales y deslizamientos traslacionales, después de realizar el análisis de estabilidad y determinación del factor de seguridad y la superficie de falla se puede observar en la

figura 4.4 que el posible deslizamiento corresponde a un movimiento rotacional, más precisamente una falla en la cabeza del talud, este tipo de fallas ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento mecánico esté regido básicamente por su fracción arcillosa o rocosa.

Figura 4.4 Análisis del talud 4



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura anterior el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable.

4.1.5. Cálculo del talud 5 progresiva 13+120 -13+300

A continuación, se muestra los datos que son necesarios para realizar el análisis de estabilidad del talud.

Tabla 18: Datos de talud 5

Descripción	Unidad	Medida
Altura	28,56	m
Longitud	180	m
Ángulo de inclinación del Talud	59 - 60	°
Cohesión pie del talud	35	KN/m ²
Ángulo de fricción interna pie del talud	40	°
Peso específico pie del talud	25	KN/m ³
Clasificación pie del talud	Roca cuarcita	CL
Cohesión cuerpo del talud	0,2	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cuerpo del talud	7	°
Peso específico cuerpo del talud	41	KN/m ³
Clasificación cuerpo del talud	A-2-6 (0)	CL
Cohesión cabeza del talud	25	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cabeza del talud	20	°
Peso específico cabeza del talud	20	KN/m ³
Clasificación cabeza del talud	Roca blanda arenisca	CL

Fuente: Elaboración propia

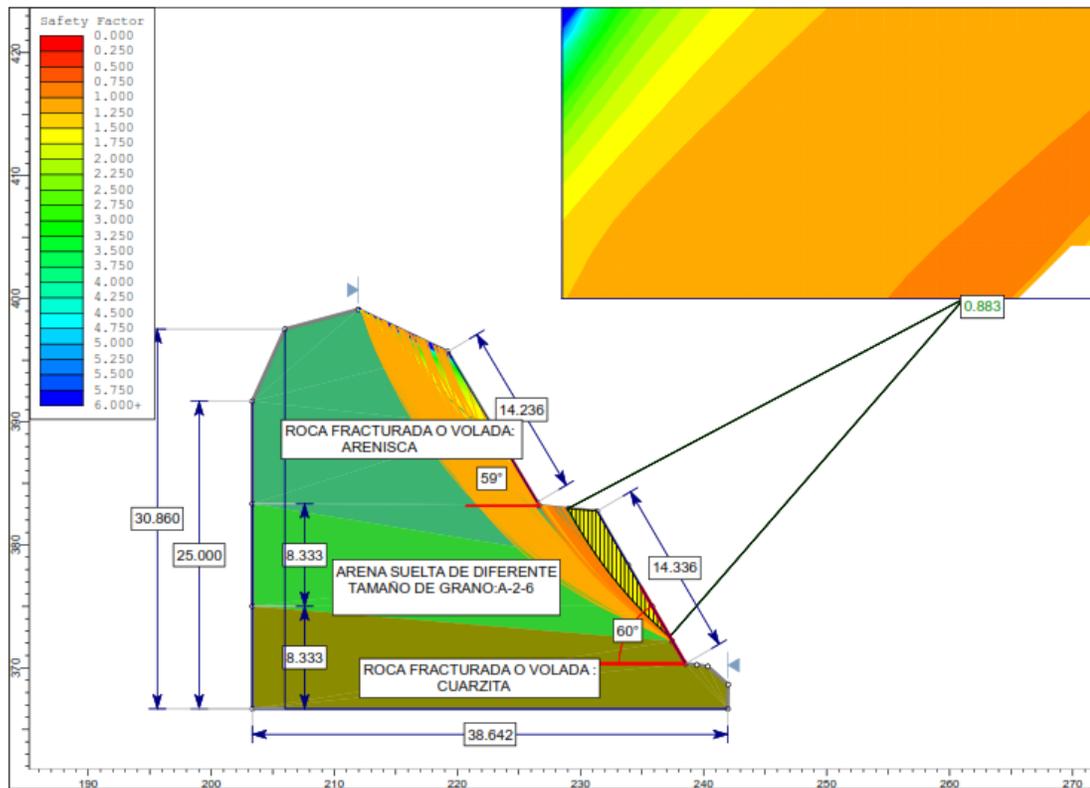
4.1.5.1. Análisis de la estabilidad del talud 5

Para el presente análisis de estabilidad se empleará el método preciso de Spencer ya que satisface rigurosamente las condiciones de equilibrio tanto de momentos como estáticos.

Como se puede apreciar en la figura el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable. Según la geología del talud en estudio los posibles deslizamientos que se podrían producir son deslizamientos rotacionales y deslizamientos traslacionales, después de realizar el análisis de estabilidad y determinación del factor de seguridad y la superficie de falla se puede observar en la

figura 4.5 que el posible deslizamiento corresponde a un movimiento rotacional, más precisamente una falla en el cuerpo del talud, este tipo de fallas ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento mecánico esté regido básicamente por su fracción arcillosa o rocosa.

Figura 4.5 Análisis del talud Actual



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura anterior el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable.

4.1.6. Cálculo del talud 6 progresiva 13+380 -13+470

A continuación, se muestra los datos que son necesarios para realizar el análisis de estabilidad del talud.

Tabla 19: Datos de talud 6

Descripción	Unidad	Medida
Altura	36,67	m
Longitud	90	m
Ángulo de inclinación del Talud	64	°
Cohesión pie del talud	35	KN/m ²
Ángulo de fricción interna pie del talud	40	°
Peso específico pie del talud	25	KN/m ³
Clasificación pie del talud	Roca arenisca	CL
Cohesión cuerpo del talud	12	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cuerpo del talud	30	°
Peso específico cuerpo del talud	17	KN/m ³
Clasificación cuerpo del talud	Roca blanda lutita	CL
Cohesión cabeza del talud	0,09	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cabeza del talud	12	°
Peso específico cabeza del talud	10	KN/m ³
Clasificación cabeza del talud	A-2-6 (0)	CL

Fuente: Elaboración propia

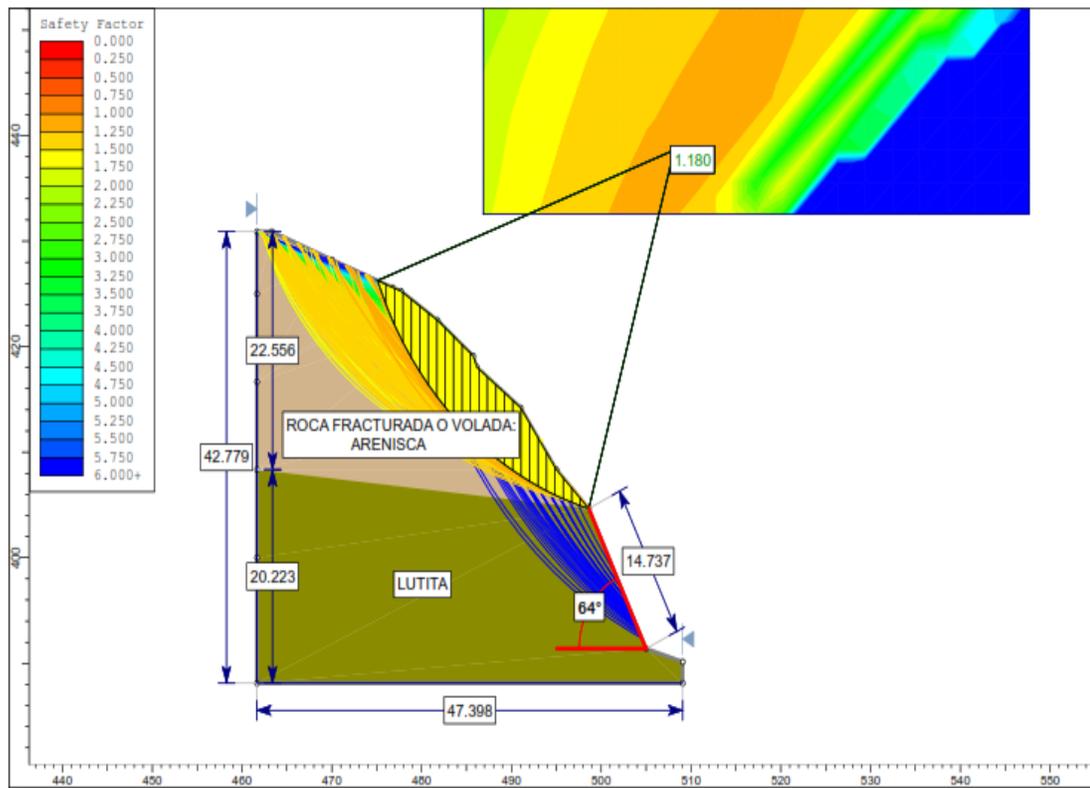
4.1.6.1. Análisis de la estabilidad del talud 6

Para el presente análisis de estabilidad se empleará el método preciso de Spencer ya que satisface rigurosamente las condiciones de equilibrio tanto de momentos como estáticos.

Como se puede apreciar en la figura el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable. Según la geología del talud en estudio los posibles deslizamientos que se podrían producir son deslizamientos rotacionales y deslizamientos traslacionales, después de realizar el análisis de estabilidad y determinación del factor de seguridad y la superficie de falla se puede observar en la

figura 4.6 que el posible deslizamiento corresponde a un movimiento rotacional, más precisamente una falla entre el cuerpo y cabeza del talud, este tipo de fallas ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento mecánico esté regido básicamente por su fracción arcillosa o rocosa.

Figura 4.6 Análisis del talud 6



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura anterior el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable.

4.1.7. Cálculo del talud 7 progresiva 14+120 -14+230

A continuación, se muestra los datos que son necesarios para realizar el análisis de estabilidad del talud.

Tabla 20: Datos de talud 7

Descripción	Unidad	Medida
Altura	27,95	m
Longitud	110	m
Ángulo de inclinación del Talud	63-65	°
Cohesión pie del talud	35	KN/m ²
Ángulo de fricción interna pie del talud	40	°
Peso específico pie del talud	25	KN/m ³
Clasificación pie del talud	Roca blanda arenisca	CL
Cohesión cuerpo del talud	12	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cuerpo del talud	30	°
Peso específico cuerpo del talud	17	KN/m ³
Clasificación cuerpo del talud	Roca blanda limolita	CL
Cohesión cabeza del talud	25	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cabeza del talud	25	°
Peso específico cabeza del talud	20	KN/m ³
Clasificación cabeza del talud	A-2-6 (0)	CL

Fuente: Elaboración propia

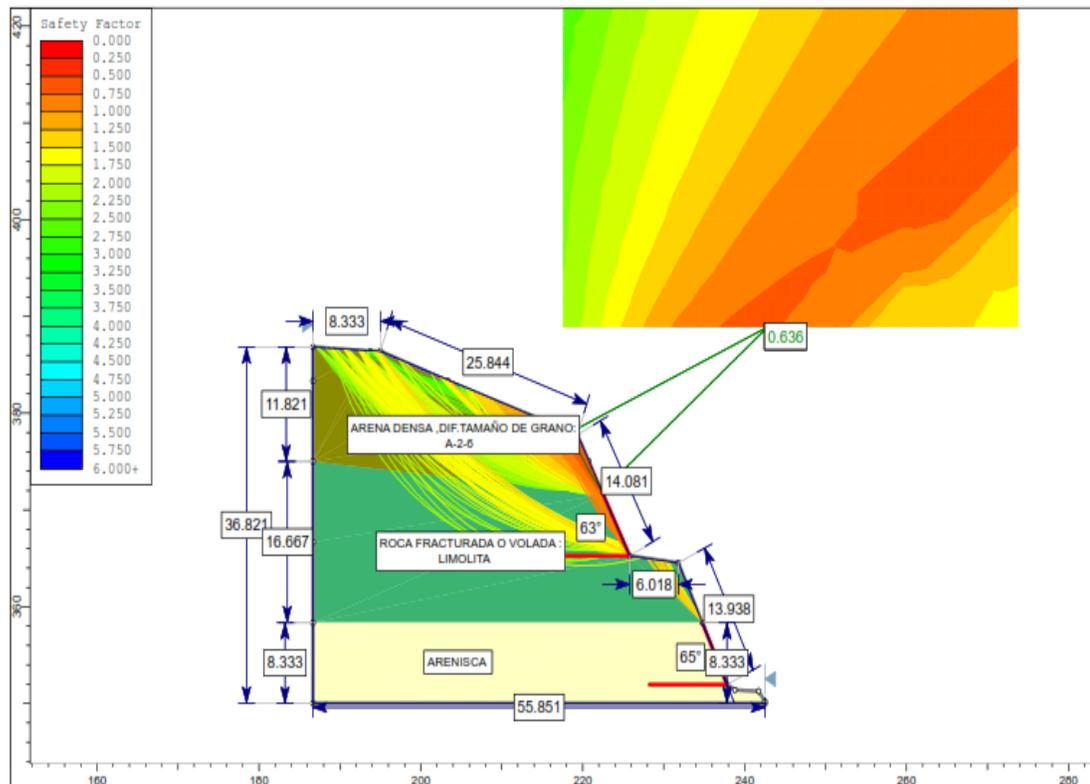
4.1.7.1. Análisis de la estabilidad del talud 7

Para el presente análisis de estabilidad se empleará el método preciso de Spencer ya que satisface rigurosamente las condiciones de equilibrio tanto de momentos como estáticos.

Como se puede apreciar en la figura el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable. Según la geología del talud en estudio los posibles deslizamientos que se podrían producir son deslizamientos rotacionales y deslizamientos traslacionales, después de realizar el análisis de estabilidad y determinación del factor de seguridad y la superficie de falla se puede observar en la

figura 4.8 que el posible deslizamiento corresponde a un movimiento rotacional, más precisamente una falla entre el cuerpo y cabeza del talud, este tipo de fallas ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento mecánico esté regido básicamente por su fracción arcillosa o rocosa.

Figura 4.7 Análisis del talud 7



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura anterior el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable.

4.1.8. Cálculo del talud 8 progresiva 14+630 -14+900

A continuación, se muestra los datos que son necesarios para realizar el análisis de estabilidad del talud.

Tabla 21: Datos de talud 8

Descripción	Unidad	Medida
Altura	47,75	m
Longitud	270	m
Ángulo de inclinación del Talud	63 - 53	°
Cohesión pie del talud	20	KN/m ²
Ángulo de fricción interna pie del talud	35	°
Peso específico pie del talud	20	KN/m ³
Clasificación pie del talud	Roca blanda limolita	CL
Cohesión cuerpo del talud	23	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cuerpo del talud	40	°
Peso específico cuerpo del talud	25	KN/m ³
Clasificación cuerpo del talud	Roca cuarcita	CL
Cohesión cabeza del talud	25	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cabeza del talud	20	°
Peso específico cabeza del talud	20	KN/m ³
Clasificación cabeza del talud	Roca blanda arenisca	CL

Fuente: Elaboración propia

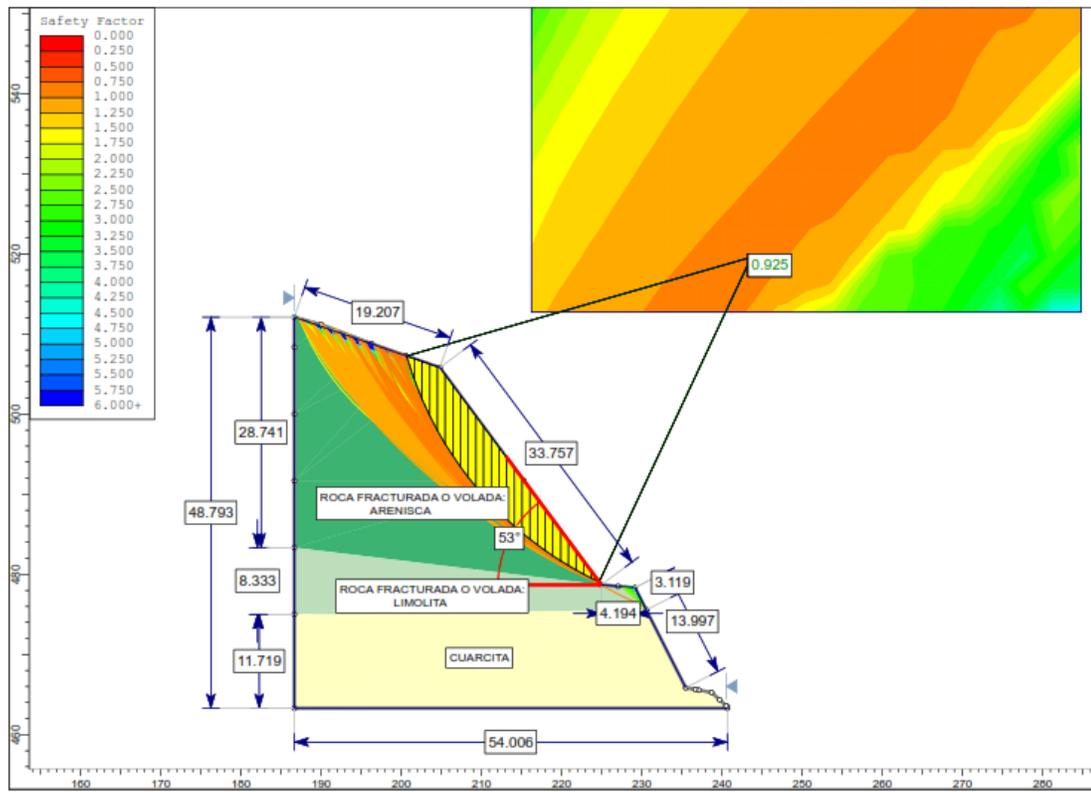
4.1.8.1. Análisis de la estabilidad del talud 8

Para el presente análisis de estabilidad se empleará el método preciso de Spencer ya que satisface rigurosamente las condiciones de equilibrio tanto de momentos como estáticos.

Como se puede apreciar en la figura el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable. Según la geología del talud en estudio los posibles deslizamientos que se podrían producir son deslizamientos rotacionales y deslizamientos traslacionales, después de realizar el análisis de estabilidad y determinación del factor de seguridad y la superficie de falla se puede observar en la

figura 4.7 que el posible deslizamiento corresponde a un movimiento rotacional, más precisamente una falla en el cuerpo del talud, este tipo de fallas ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento mecánico esté regido básicamente por su fracción arcillosa o rocosa.

Figura 4.8 Análisis del talud 8



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura anterior el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable.

4.1.9. Cálculo del talud 9 progresiva 15+140 -15+316

A continuación, se muestra los datos que son necesarios para realizar el análisis de estabilidad del talud.

Tabla 22: Datos de talud 9

Descripción	Unidad	Medida
Altura	41,14	m
Longitud	176	m
Ángulo de inclinación del Talud	63 - 69	°
Cohesión pie del talud	25	KN/m ²
Ángulo de fricción interna pie del talud	20	°
Peso específico pie del talud	20	KN/m ³
Clasificación pie del talud	Arenisca A-2-6 (0)	CL
Cohesión cuerpo del talud	12	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cuerpo del talud	30	°
Peso específico cuerpo del talud	17	KN/m ³
Clasificación cuerpo del talud	Roca blanda cuarcita	CL
Cohesión cabeza del talud	12	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cabeza del talud	30	°
Peso específico cabeza del talud	17	KN/m ³
Clasificación cabeza del talud	Roca blanda Arenisca	CL

Fuente: Elaboración propia

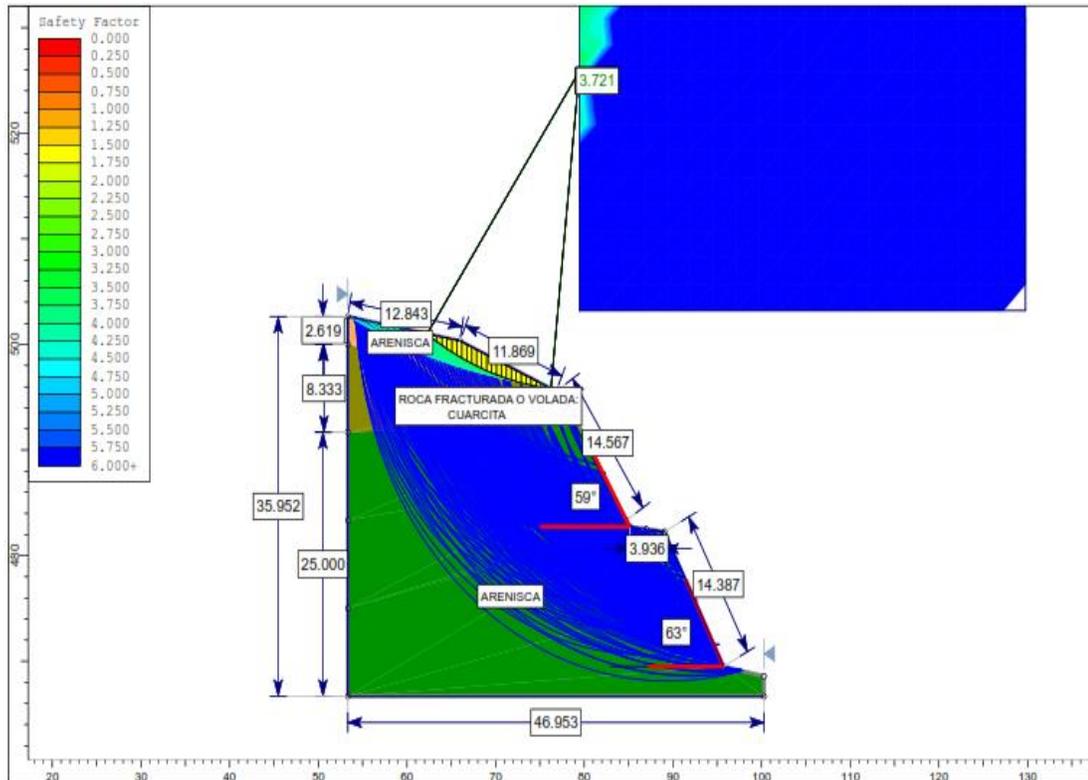
4.1.9.1. Análisis de la estabilidad del talud 9

Para el presente análisis de estabilidad se empleará el método preciso de Spencer ya que satisface rigurosamente las condiciones de equilibrio tanto de momentos como estáticos.

Como se puede apreciar en la figura el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable. Según la geología del talud en estudio los posibles deslizamientos que se podrían producir son deslizamientos rotacionales y deslizamientos traslacionales, después de realizar el análisis de estabilidad y determinación del factor de seguridad y la superficie de falla se puede observar en la

figura 4.9 que el posible deslizamiento corresponde a un movimiento rotacional, más precisamente una falla en la cabeza del talud, este tipo de fallas ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento mecánico esté regido básicamente por su fracción arcillosa o rocosa.

Figura 4.9 Análisis del talud Actual



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura anterior el factor de seguridad es mayor a 1,50 por lo que se considera un talud estable.

4.1.10. Cálculo del talud 10 15+630 -15+796

A continuación, se muestra los datos que son necesarios para realizar el análisis de estabilidad del talud.

Tabla 23: Datos de talud 10

Descripción	Unidad	Medida
Altura	6,3	m
Longitud	166	m
Ángulo de inclinación del Talud	117	°
Cohesión pie del talud	25	KN/m ²
Ángulo de fricción interna pie del talud	20	°
Peso específico pie del talud	20	KN/m ³
Clasificación pie del talud	Roca blanda arenisca	CL
Cohesión cuerpo del talud	35	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cuerpo del talud	40	°
Peso específico cuerpo del talud	25	KN/m ³
Clasificación cuerpo del talud	Roca cuarcita	CL
Cohesión cabeza del talud	25	KN/m ²
Ángulo de fricción interna cabeza del talud	20	°
Peso específico cabeza del talud	20	KN/m ³
Clasificación cabeza del talud	Roca blanda arenisca	CL

Fuente: Elaboración propia

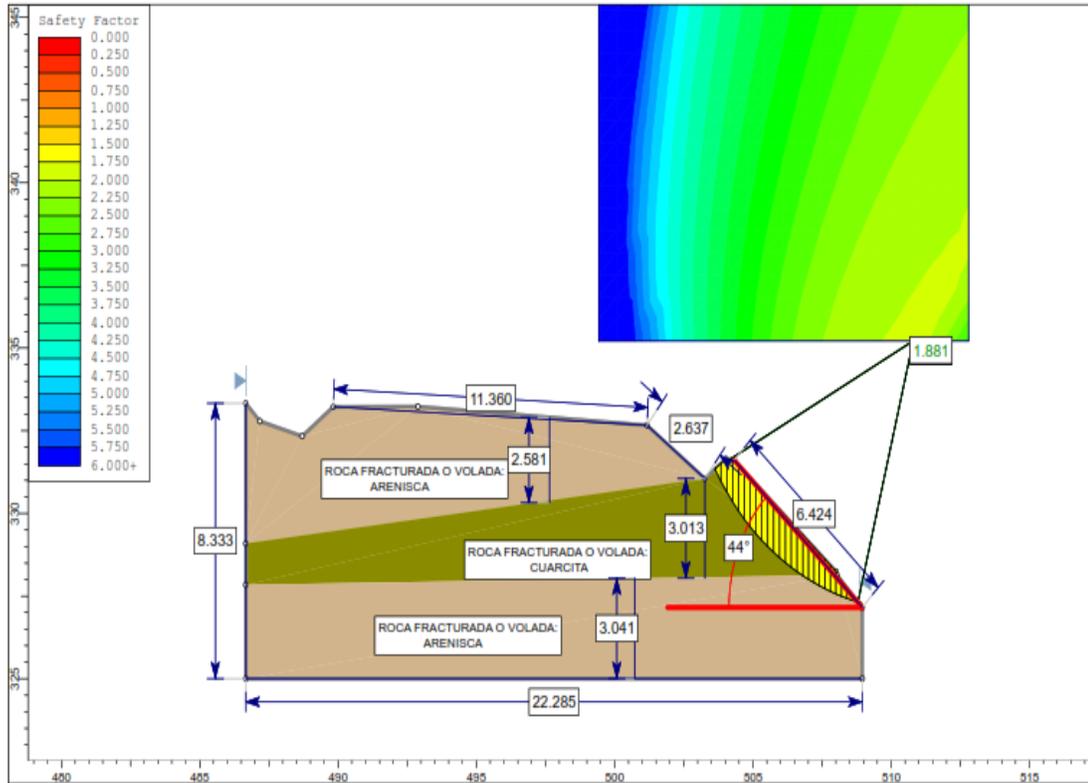
4.1.10.1. Análisis de la estabilidad del talud 10

Para el presente análisis de estabilidad se empleará el método preciso de Spencer ya que satisface rigurosamente las condiciones de equilibrio tanto de momentos como estáticos.

Como se puede apreciar en la figura el factor de seguridad es menor a 1,50 por lo que se considera un talud inestable. Según la geología del talud en estudio los posibles deslizamientos que se podrían producir son deslizamientos rotacionales y deslizamientos traslacionales, después de realizar el análisis de estabilidad y determinación del factor de seguridad y la superficie de falla se puede observar en la

figura 4.10 que el posible deslizamiento corresponde a un movimiento rotacional, más precisamente una falla en el cuerpo del talud, este tipo de fallas ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento mecánico esté regido básicamente por su fracción arcillosa o rocosa.

Figura 4.10 Análisis del talud Actual



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura anterior el factor de seguridad es mayor a 1,50 por lo que se considera un talud estable.

4.1.11. Tabla resumen del análisis de taludes

Tabla 24: Resumen análisis de taludes

Talud	Progresiva	Factor de seguridad	Observaciones
Talud 1	10+760 -10+930	1,015	Talud inestable
Talud 2	11+300 -11+500	0,651	Talud inestable
Talud 3	11+800 -12+100	1,143	Talud inestable
Talud 4	12+500 -12+930	0,507	Talud inestable
Talud 5	13+120 -13+300	0,883	Talud inestable
Talud 6	13+380 -13+470	1,180	Talud inestable
Talud 7	14+120 -14+230	0,636	Talud inestable
Talud 8	14+630 -14+900	0,925	Talud inestable
Talud 9	15+140 -15+316	3,721	Talud estable
Talud 10	15+630 -15+796	1,881	Talud estable

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 24 los análisis de los diferentes taludes podemos verificar que en su gran mayoría son inestables puesto que el factor de seguridad es menor a 1,5 y debido a eso se pueden presentar diferentes tipos de fallas.

4.2. Recomendaciones técnicas para controlar la estabilidad de taludes

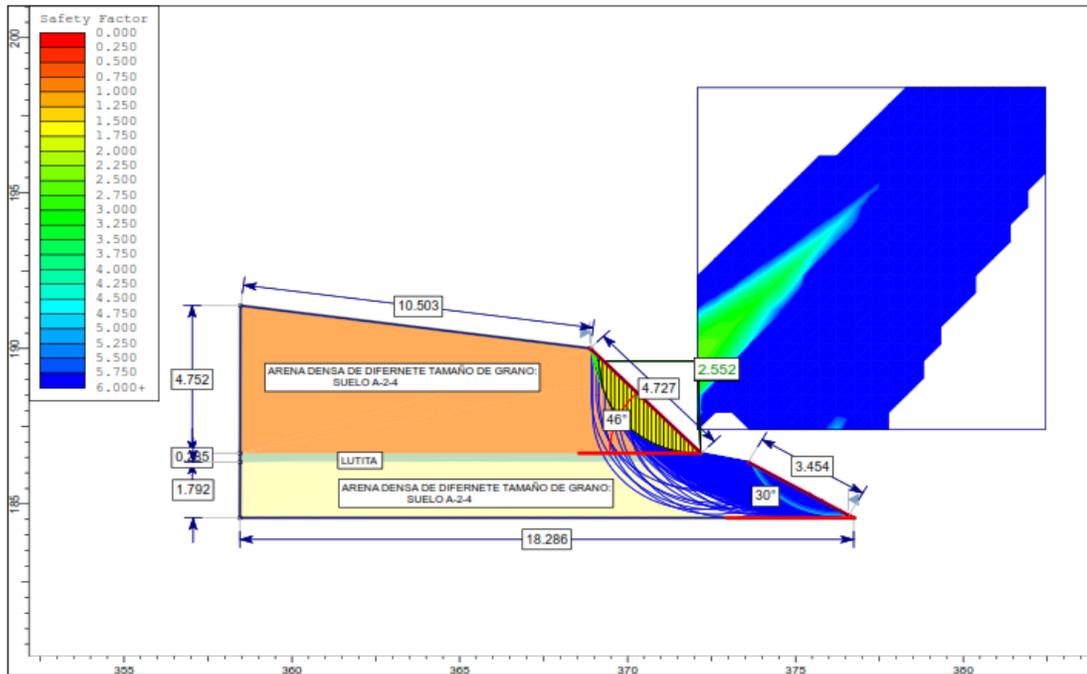
4.2.1. Análisis de alternativas

Se aplicará como método de estabilización los propuestos en el Manual de Conservación Vial de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) y están basados en la modificación de la geometría del talud, mediante el cambio de la pendiente del talud y la aplicación de banquetas intermedias, también se tomó en cuenta el talud recomendable para cortes dependiendo del tipo de material que indica la bibliografía y corresponde a un talud máximo de 0.5H / 1V, o a un ángulo de inclinación de 63°.

4.2.1.1. Análisis de alternativas a la estabilidad del talud 1

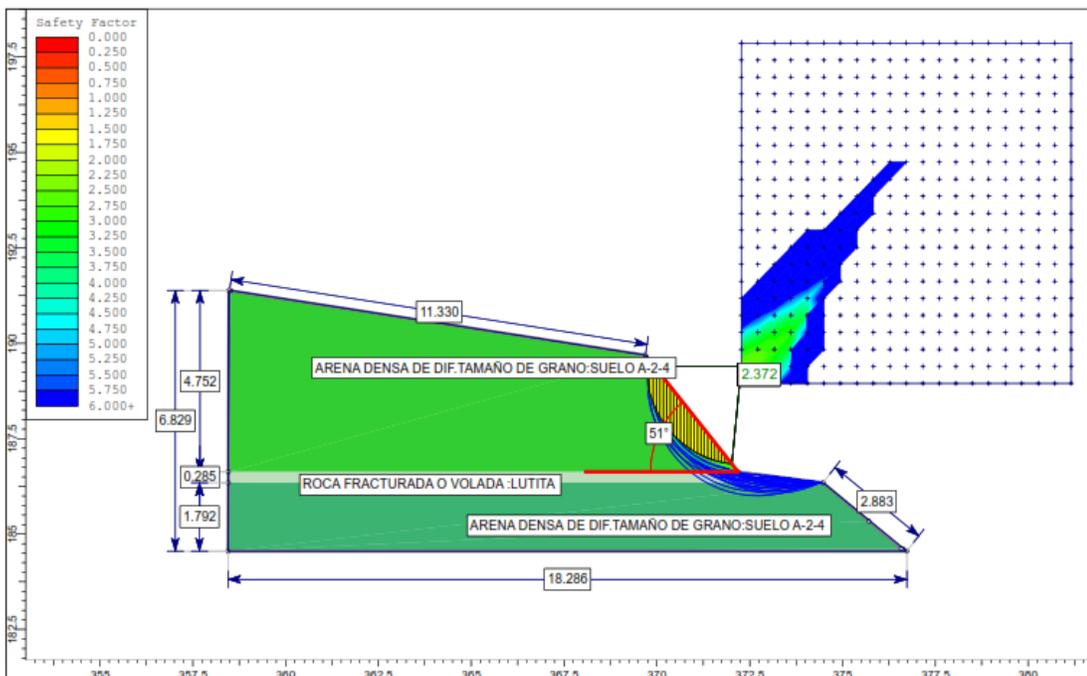
Para incrementar el factor de seguridad a la estabilidad del talud se presentan dos alternativas:

Figura 4.11 Alternativa 1 de estabilidad al talud 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12 Alternativa 2 de estabilidad al talud 1



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2. Análisis económico a la estabilidad del talud 1

Después de realizar el cálculo del factor de seguridad para las alternativas planteadas, es que se realiza el análisis económico para determinar cuál de las alternativas es la más adecuada.

Tabla 25: Resumen cálculo talud 1

Descripción	Actual	Alternativa 1	Alternativa 2
Factor de seguridad	1,015	2,552	2,372
Volumen de excavación (m ³)	-	2660,20	2527,19

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Presupuesto talud 1

Ítem	Descripción	Unid.	Cant.	P. U.	Costo ítem
Alternativa 1					
1	Excavación sin explosivos ripable	m ³	2660,20	29,93	79619,79
2	Transporte de material (D = 3 Km)	m ³	2660,20	13,99	53177,40
Alternativa 2					
1	Excavación sin explosivos ripable	m ³	2527,19	29,93	75638,80
2	Transporte de material (D = 3 Km)	m ³	2527,19	13,99	35355,39

Fuente: Elaboración propia

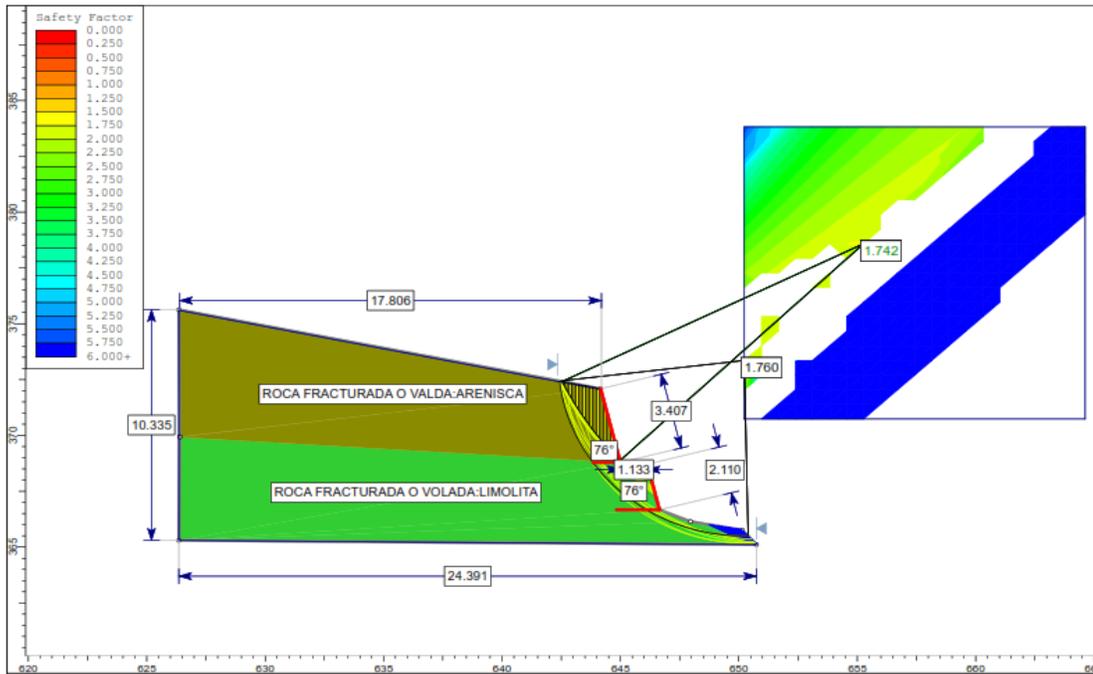
Para este talud se decidió dar una solución de acuerdo a lo que nos indica el manual de carreteras.

Como se puede apreciar en la tabla 25, ambas alternativas nos brindan un factor de seguridad adecuado o estable, así mismo la segunda alternativa es la que representa un menor costo de aplicación, en comparación con la primera.

4.2.1.3. Análisis de alternativas a la estabilidad del talud 2

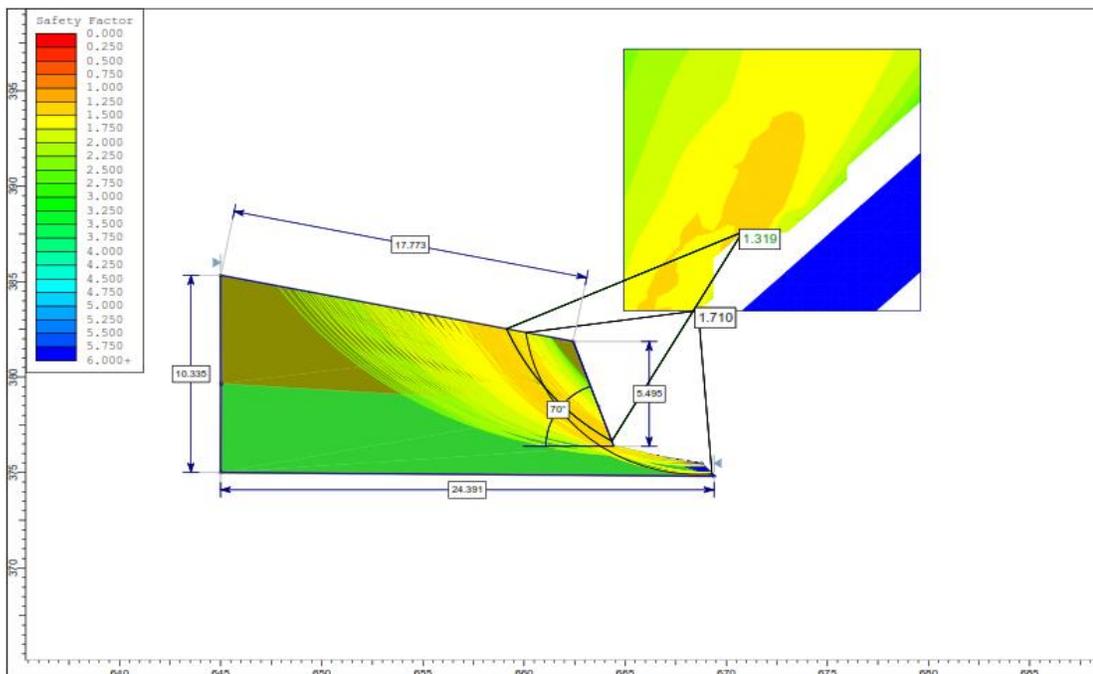
Para incrementar el factor de seguridad a la estabilidad del talud se presentan dos alternativas:

Figura 4.13 Alternativa 1 de estabilidad al talud 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14 Alternativa 2 de estabilidad al talud 2



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.4. Análisis económico a la estabilidad del talud 2

Después de realizar el cálculo del factor de seguridad para las alternativas planteadas, es que se realiza el análisis económico para determinar cuál de las alternativas es la más adecuada.

Tabla 27: Resumen cálculo talud 2

Descripción	Actual	Alternativa 1	Alternativa 2
Factor de seguridad	0,651	1,742	1,710
Volumen de excavación	-	2046,36	1944,04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Presupuesto talud 2

Ítem	Descripción	Unid.	Cant.	P. U.	Costo ítem
Alternativa 1					
1	Excavación no clasificada	m ³	2046,36	29,93	61247,47
2	Transporte de material (D = 3 Km)	m ³	2046,36	13,99	28628,53
Alternativa 2					
1	Excavación no clasificada	m ³	1944,04	29,93	58185,09
2	Transporte de material (D = 3 Km)	m ³	1944,04	13,99	27197,11

Fuente: Elaboración propia

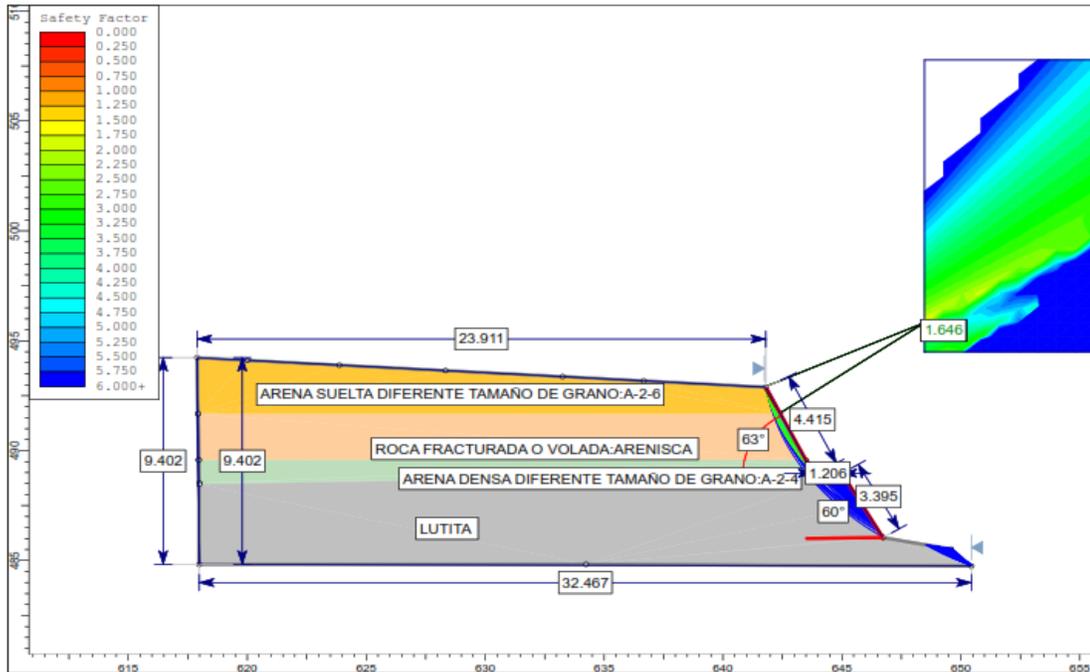
Para este talud se decidió dar una solución de acuerdo a lo que nos indica el manual de carreteras.

Como se puede apreciar en la tabla 27, ambas alternativas nos brindan un factor de seguridad adecuado o estable, así mismo la segunda alternativa es la que representa un menor costo de aplicación, en comparación con la primera.

4.2.1.5. Análisis de alternativas a la estabilidad del talud 3

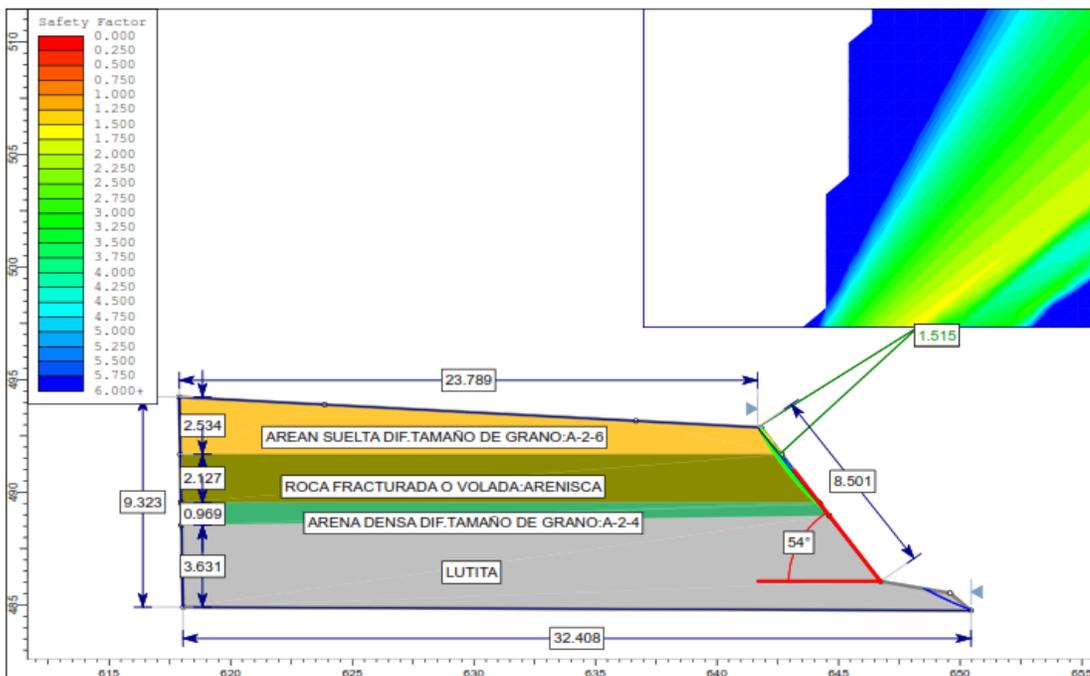
Para incrementar el factor de seguridad a la estabilidad del talud se presentan dos alternativas:

Figura 4.15 Alternativa 1 de estabilidad al talud 3



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16 Alternativa 2 de estabilidad al talud 3



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.6. Análisis económico a la estabilidad del talud 3

Después de realizar el cálculo del factor de seguridad para las alternativas planteadas, es que se realiza el análisis económico para determinar cuál de las alternativas es la más adecuada.

Tabla 29: Resumen cálculo talud 3

Descripción	Actual	Alternativa 1	Alternativa 2
Factor de seguridad	1,143	1,646	1,515
Volumen de excavación		286,89	263,94

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30: Presupuesto talud 3

Ítem	Descripción	Unid.	Cant.	P. U.	Costo ítem
Alternativa 1					
1	Excavación no clasificada	m ³	90162,89	29,93	8586,62
2	Transporte de material (D = 3 Km)	m ³	90162,89	13,99	4013,59
Alternativa 2					
1	Excavación no clasificada	m ³	82949,86	29,93	7829,69
2	Transporte de material (D = 3 Km)	m ³	82949,86	13,99	3692,50

Fuente: Elaboración propia

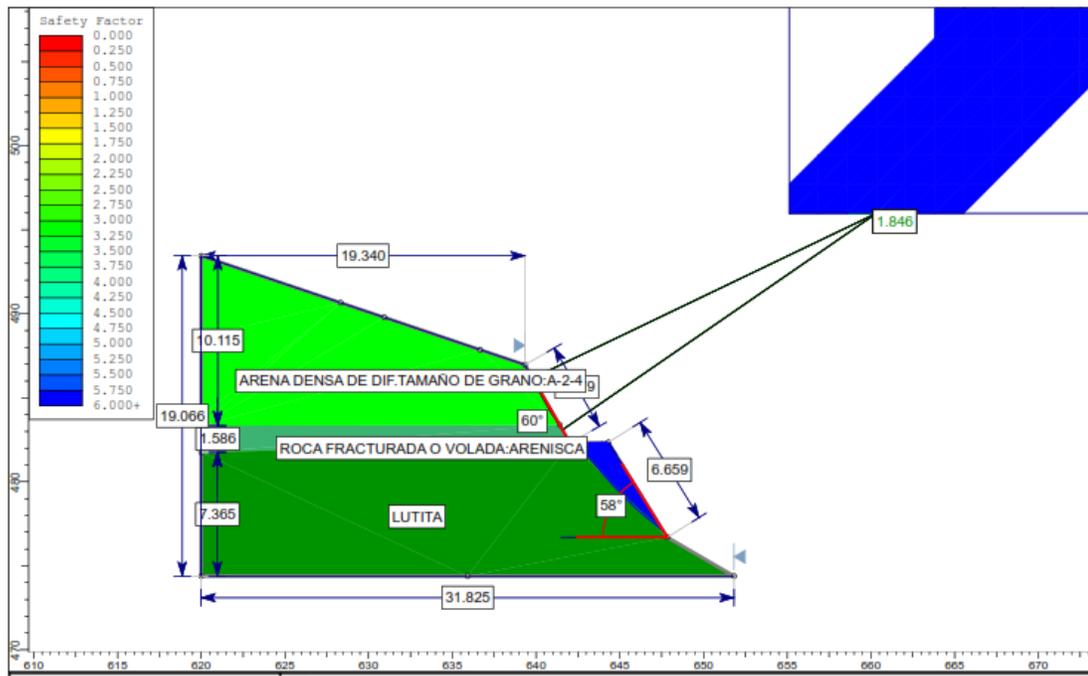
Para este talud se decidió dar una solución de acuerdo a lo que nos indica el manual de carreteras.

Como se puede apreciar en la tabla 29, ambas alternativas nos brindan un factor de seguridad adecuado o estable, así mismo la segunda alternativa es la que representa un menor costo de aplicación, en comparación con la primera.

4.2.1.7. Análisis de alternativas a la estabilidad del talud 4

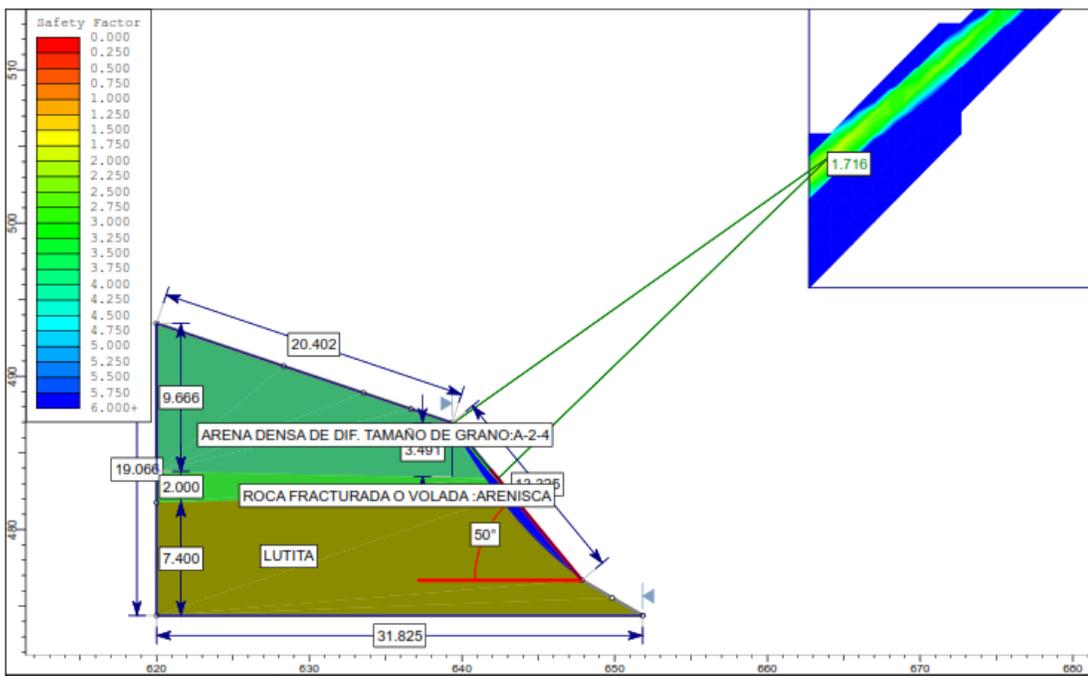
Para incrementar el factor de seguridad a la estabilidad del talud se presentan dos alternativas:

Figura 4.17 Alternativa 1 de estabilidad al talud 4



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18 Alternativa 2 de estabilidad al talud 4



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.8. Análisis económico a la estabilidad del talud 4

Después de realizar el cálculo del factor de seguridad para las alternativas planteadas, es que se realiza el análisis económico para determinar cuál de las alternativas es la más adecuada.

Tabla 31: Resumen cálculo talud 4

Descripción	Actual	Alternativa 1	Alternativa 2
Factor de seguridad	0,507	1,846	1,716
Volumen de excavación	-	316,76	304,09

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32: Presupuesto talud 4

Ítem	Descripción	Unid.	Cant.	P. U.	Costo ítem
Alternativa 1					
1	Excavación no clasificada	m ³	316,76	29,93	9480,68
2	Transporte de material (D = 3 Km)	m ³	316,76	13,99	4431,48
Alternativa 2					
1	Excavación no clasificada	m ³	304,09	29,93	9101,43
2	Transporte de material (D = 3 Km)	m ³	304,09	13,99	4254,23

Fuente: Elaboración propia

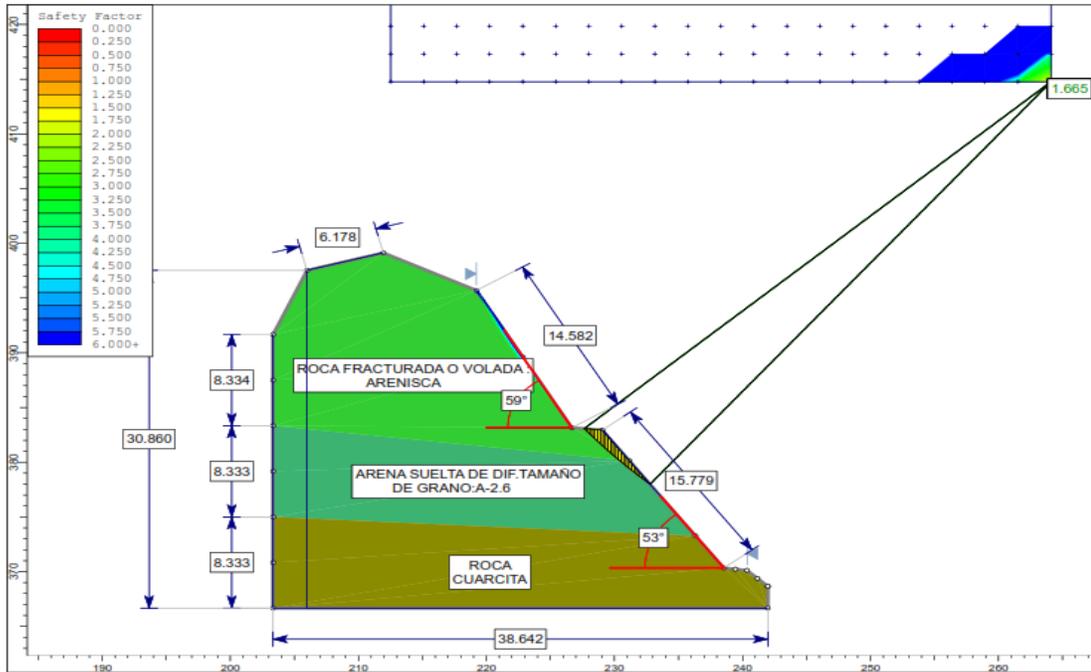
Para este talud se decidió dar una solución de acuerdo a lo que nos indica el manual de carreteras.

Como se puede apreciar en la tabla 31, ambas alternativas nos brindan un factor de seguridad adecuado o estable, así mismo la segunda alternativa es la que representa un menor costo de aplicación, en comparación con la primera.

4.2.1.9. Análisis de alternativas a la estabilidad del talud 5

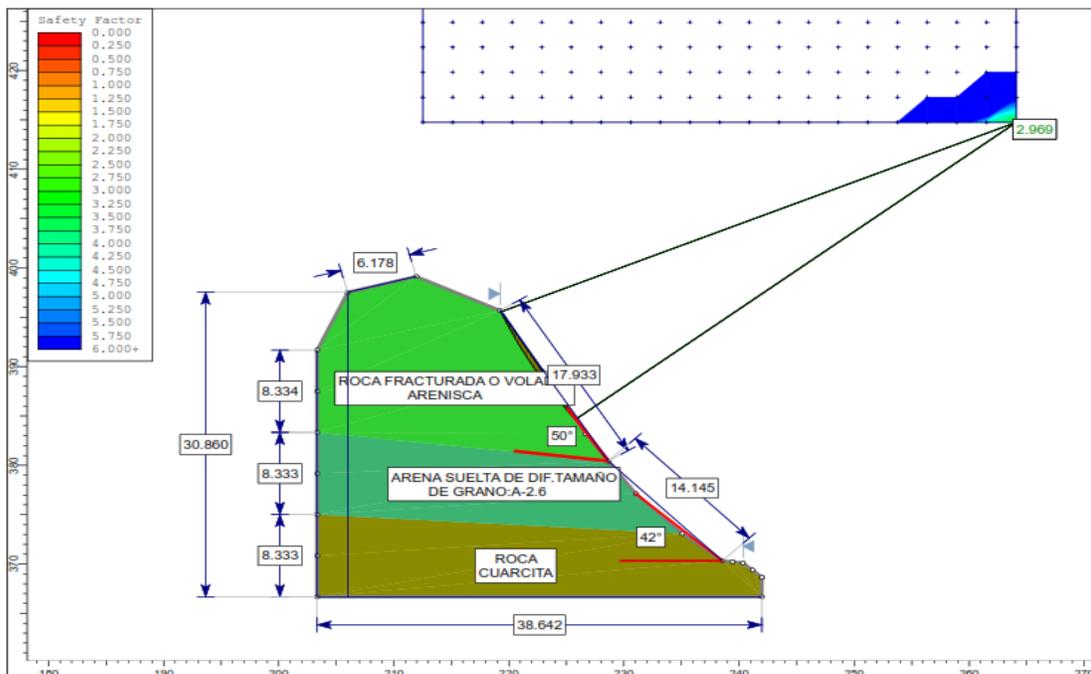
Para incrementar el factor de seguridad a la estabilidad del talud se presentan dos alternativas:

Figura 4.19 Alternativa 1 de estabilidad al talud 5



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20 Alternativa 2 de estabilidad al talud 5



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.10. Análisis económico a la estabilidad del talud 5

Después de realizar el cálculo del factor de seguridad para las alternativas planteadas, es que se realiza el análisis económico para determinar cuál de las alternativas es la más adecuada.

Tabla 33: Resumen cálculo talud 5

Descripción	Actual	Alternativa 1	Alternativa 2
Factor de seguridad	0,883	1,665	2,969
Volumen de excavación	-	741,11	1185,77

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34: Presupuesto talud 5

Ítem	Descripción	Unid.	Cant.	P. U.	Costo ítem
Alternativa 1					
1	Excavación no clasificada	m ³	741,11	29,93	22181,27
2	Transporte de material (D = 3 Km)	m ³	741,11	13,99	10368,06
Alternativa 2					
1	Excavación no clasificada	m ³	1185,85	29,93	35490,04
2	Transporte de material (D = 3 Km)	m ³	1185,85	13,99	16588,89

Fuente: Elaboración propia

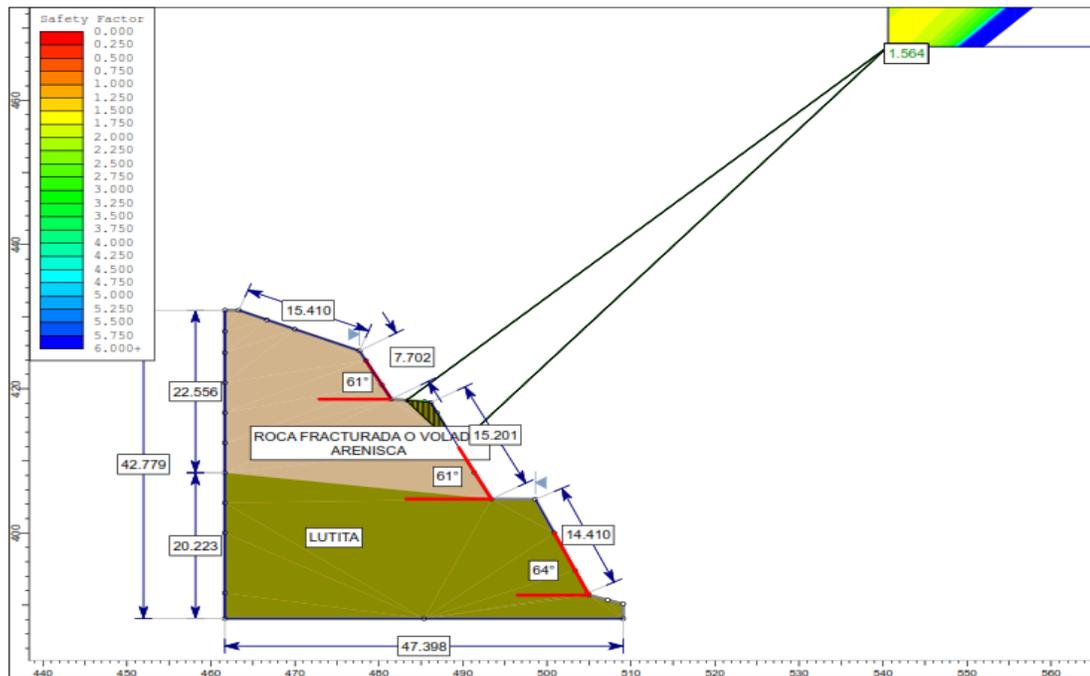
Para este talud se decidió dar una solución de acuerdo a lo que nos indica el manual de carreteras.

Como se puede apreciar en la tabla 33, ambas alternativas nos brindan un factor de seguridad adecuado o estable, así mismo la segunda alternativa es la que representa un menor costo de aplicación, en comparación con la primera.

4.2.1.11. Análisis de alternativas a la estabilidad del talud 6

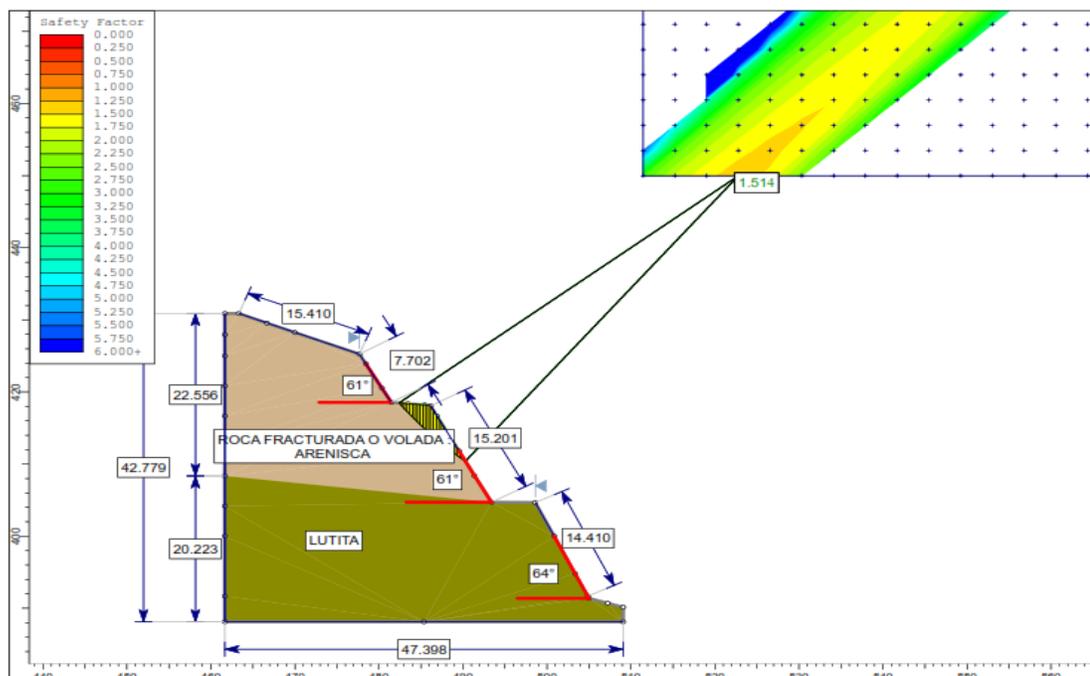
Para incrementar el factor de seguridad a la estabilidad del talud se presentan dos alternativas:

Figura 4.21 Alternativa 1 de estabilidad al talud 6



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22 Alternativa 2 de estabilidad al talud 6



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.12. Análisis económico a la estabilidad del talud 6

Después de realizar el cálculo del factor de seguridad para las alternativas planteadas, es que se realiza el análisis económico para determinar cuál de las alternativas es la más adecuada.

Tabla 35: Resumen cálculo talud 6

Descripción	Actual	Alternativa 1	Alternativa 2
Factor de seguridad	1,180	1,564	1,514
Volumen de excavación	-	383,43	375,76

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36: Presupuesto talud 6

Ítem	Descripción	Unid.	Cant.	P. U.	Costo ítem
Alternativa 1					
1	Excavación no clasificada	m ³	383,43	29,93	11475,91
2	Transporte de material (D = 3 Km)	m ³	383,43	13,99	5364,11
Alternativa 2					
1	Excavación no clasificada	m ³	375,76	29,93	11246,39
2	Transporte de material (D = 3 Km)	m ³	375,76	13,99	5256,83

Fuente: Elaboración propia

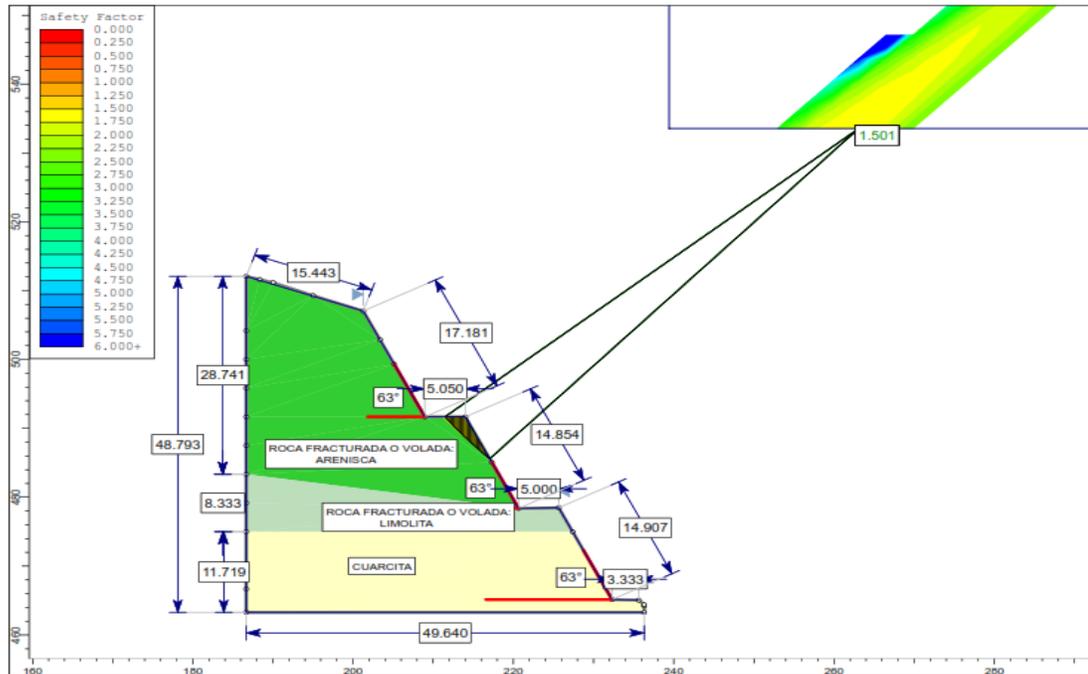
Para este talud se decidió dar una solución de acuerdo a lo que nos indica el manual de carreteras.

Como se puede apreciar en la tabla 35, ambas alternativas nos brindan un factor de seguridad adecuado o estable, así mismo la segunda alternativa es la que representa un menor costo de aplicación, en comparación con la primera.

4.2.1.13. Análisis de alternativas a la estabilidad del talud 7

Para incrementar el factor de seguridad a la estabilidad del talud se presentan la siguiente alternativa:

Figura 4.23 Alternativa 1 de estabilidad al talud 7



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.14. Análisis económico a la estabilidad del talud 7

Después de realizar el cálculo del factor de seguridad, es que se realiza el análisis económico para determinar el costo de la alternativa planteada.

Tabla 37: Resumen cálculo talud 7

Descripción	Actual	Alternativa 1
Factor de seguridad	0,925	1,501
Volumen de excavación		715,62

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38: Presupuesto talud 7

Ítem	Descripción	Unid.	Cant.	P. U.	Costo ítem
Alternativa 1					
1	Excavación no clasificada	m ³	715,62	29,93	21418,36
2	Transporte de material (D = 3 Km)	m ³	715,62	13,99	1011,45

Fuente: Elaboración propia

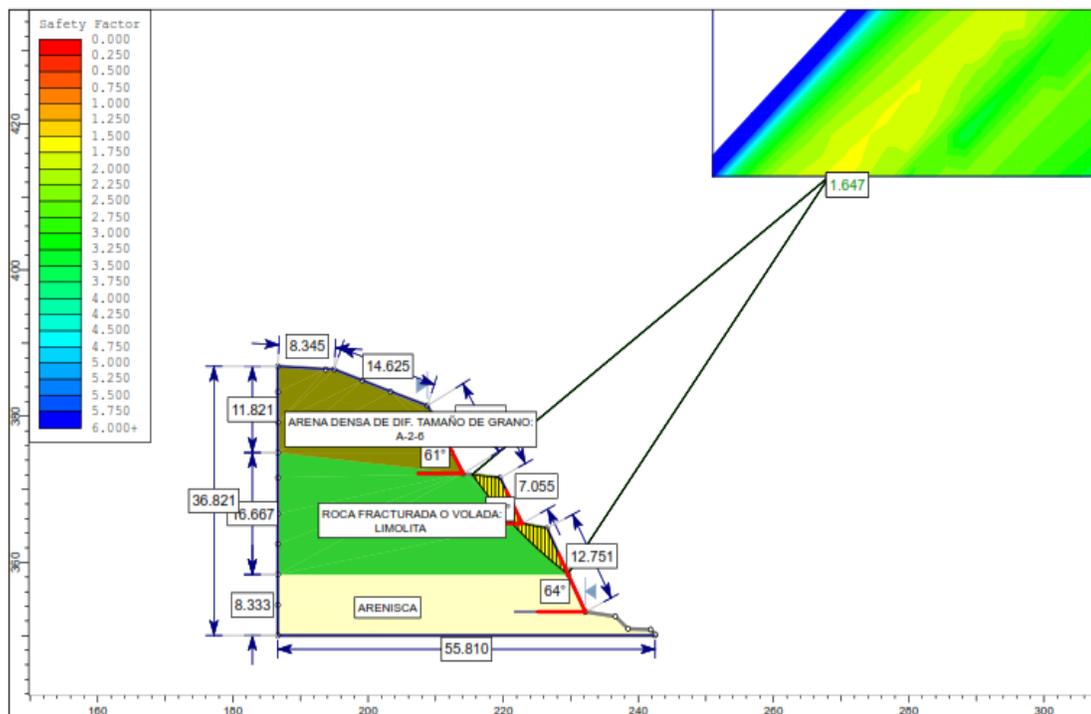
Para este talud se decidió dar una solución de acuerdo a lo que nos indica el manual de carreteras.

Como se puede apreciar en la tabla 37, presentamos una sola alternativa la cual nos brinda un factor de seguridad adecuado o estable, así mismo como única alternativa proponemos realizar banquetas ya que la altura del talud es considerablemente grande y con este análisis obtuvimos la estabilidad del talud.

4.2.1.15. Análisis de alternativas a la estabilidad del talud 8

Para incrementar el factor de seguridad a la estabilidad del talud se presentan dos alternativas:

Figura 4.24 Alternativa 1 de estabilidad al talud 8



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.16. Análisis económico a la estabilidad del talud 8

Después de realizar el cálculo del factor de seguridad, es que se realiza el análisis económico para determinar el costo de la alternativa planteada.

Tabla 39: Resumen cálculo talud 8

Descripción	Actual	Alternativa 1
Factor de seguridad	0,636	1,647
Volumen de excavación		508,03

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40: Presupuesto talud 8

Ítem	Descripción	Unid.	Cant.	P. U.	Costo ítem
Alternativa 1					
1	Excavación no clasificada	m ³	508,03	29,93	15205,40
2	Transporte de material (D = 3 Km)	m ³	508,03	13,99	7107,37

Fuente: Elaboración propia

Para este talud se decidió dar una solución de acuerdo a lo que nos indica el manual de carreteras.

Como se puede apreciar en la tabla 39, presentamos una sola alternativa la cual nos brinda un factor de seguridad adecuado o estable, así mismo como única alternativa proponemos realizar banquetas ya que la altura del talud es considerablemente grande y con este análisis obtuvimos la estabilidad del talud.

Conformación de talud o ladera

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

Recubrimiento de la superficie

Este es un método que trata de impedir la infiltración o la ocurrencia de fenómenos superficiales de erosión, o refuerzan el suelo más superficial. El recubrimiento puede consistir en inyectar elementos impermeabilizantes como el cemento o elementos que refuercen la estructura superficial del suelo como la cobertura vegetal.

En este análisis podríamos considerar de manera visual la alternativa de utilizar enmallado para evitar el deslizamiento del talud y también evitar un sobre precio con

otro método y no sería de gran ayuda la hidrosiembra ya que este método es más aceptable para los lugares húmedos en este caso los suelos de esta zona son orgánicos de poca vegetación.

Control de aguas superficiales y subterráneas

Sistemas tendientes a controlar el agua y sus efectos, disminuyendo fuerzas que producen movimientos o desarrollando más fuerzas resistentes.

En la siguiente figura se muestra que ya existe un sistema de control de agua y drenajes la cual solo deberá hacerse un mantenimiento para evitar otra falla por la humedad o la filtración d agua a los taludes.

Figura 4.25. Canal colector de aguas junto a una bajante de aguas



Fuente: Elaboración propia

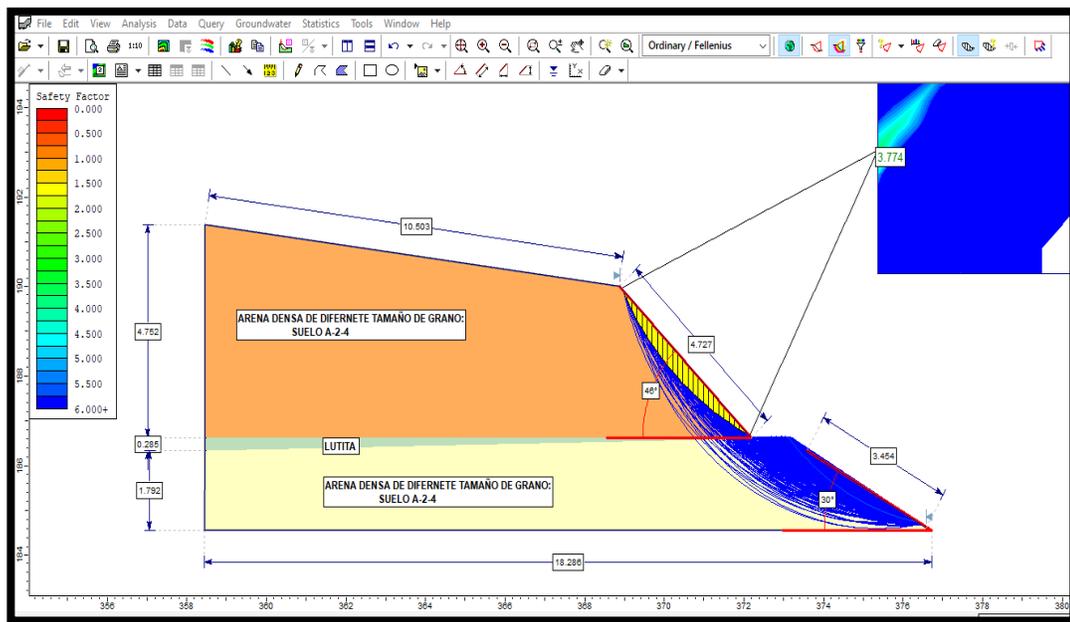
Estructuras de contención

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

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

4.2.2. Selección de la mejor alternativa

Figura 4.26. Alternativa 1



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los perfiles ya mostrados en el punto 3.3.6, donde nos presentan los taludes y sus posibles deslizamientos, pues en este punto y con la figura 3.48 podremos diferenciar el factor de seguridad donde notamos que llega a 1,22 eso quiere decir que mediante unos cortes en el talud con algunas pendientes podremos garantizar que este talud sea estable y al mismo tiempo el costo sea mucho menor que al hacer banquetas u otro tipo de análisis de solución. Con los siguientes taludes se hizo el mismo análisis y eso se mostrará en anexos.

La siguiente figura 4.27 muestra mediante las líneas naranjas de cómo puede ser el corte del talud para poder evitar el deslizamiento y ocasionar daños al tráfico vehicular y el peligro de accidentes contra la vida humana.

Figura 4.27. Alternativa de corte para el talud 1



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En el presente trabajo, por tratarse de realizar el análisis de la estabilidad de taludes estratificados aplicados al tramo Chorcoya Méndez–Chorcoya Avilés y ver sus características y estabilidad se ha llegado a las siguientes conclusiones.

Los Estudios mencionados en este trabajo proporcionan una visión global de las características geotécnicas de los suelos típicos de los suelos aluviales y rocas del tramo de estudio, así como también algunas de sus condiciones y parámetros geotécnicos. Todo esto permitirá en el futuro el desarrollo de nuevos patrones de comportamiento considerando su evaluación experimental y tratamiento estadístico para llegar a una determinación más aproximada de las propiedades ingenieriles que permitan en el futuro la discretización de estas características geotécnicas de suelos aluviales, por lo tanto, comportamiento en las obras de ingeniería civil.

Cómo se ha indicado estos materiales geotécnicos no encuadran satisfactoriamente con muchos de los criterios y métodos tradicionales utilizados en la mecánica de suelos, desarrollando en muchos casos mayores o menores resistencias que lo previsto, debido a que, en estos suelos parcialmente rocosos se altera en forma significativa su comportamiento mecánico con muy poca humedad prevaleciente en el campo.

En el tramo escogido para el estudio Chorcoya Méndez –Chorcoya Avilés se estudió 10 puntos de taludes identificados con diferentes tipos de suelos y rocas, (estratos) Talud 1 en la progresiva 10+760 a la 10+930, Talud 2 en la progresiva. 11+300, Talud 3 en la progresiva 11+800 todo este proceso se lo realizo en todo el tramo que presentaba más fallas y lo requería concluyendo en la progresiva 15+796.

Cada uno de los taludes con diferentes tipos de suelos o estratos (lutita, cuarzo, limolita).

De acuerdo a los estudios de ensayo de corte directo se concluye que los taludes presentan los siguientes valores de cohesión y ángulo de fricción Talud 1 capa superficial cohesión (0,14 kg/cm²) y ángulo de fricción de (35°), Talud 2 capa superficial cohesión (0,09 kg/cm²) y ángulo de fricción (33°), Talud 3 capa superficial cohesión (0,14 kg/cm²) y ángulo de fricción (10°), etc. Ya que se establece que estos valores están en el rango para arenas limos, arcillas.

En los primeros 8 taludes analizados y de acuerdo al valor obtenido del programa Slide 6.0 nos proporcionó del factor de seguridad menor a 1,5 el cual se considera inestable ya que el análisis para la estabilidad de taludes se realizó de acuerdo a los estratos de cada talud debido a que el proceso de meteorización no era parcial y se nota una degradación total, por lo cual se considera inestable ya que su material se encuentra en proceso degradación total lo cual hace que el talud sea inestable.

viendo los diversos y la cantidad de métodos que se utilizan para la estabilidad de taludes, los cuales dan resultados diferentes y en ocasiones contradictorios son una muestra de la incertidumbre que caracteriza los análisis de estabilidad.

Para este proceso de del análisis de la estabilidad de los taludes estudiados se procese a determinar los datos obtenidos en laboratorio, para luego por medio del programa Slide 6.0 que garantiza el factor de seguridad del talud y la falla pudimos obtener datos precisos del F.S. siendo estos de manera muy bajos, así que tuvimos que analizar y dar una solución al análisis de inestabilidad , en alguno casos dimos una pendiente más amplia al talud en otros casos construcción de banquetas hasta que el mismo programa nos dé un factor de seguridad igual o mayor a 1,5 que garantiza un talud estable.

Los valores obtenidos por las pruebas de laboratorio para las muestras de suelo de los taludes de cada tramo tomadas como clasificación del suelo y los valores de Cohesión “C” y el ángulo de fricción interno “Ø”, estos parámetros sirvieron para determinar el grado de estabilidad de los taludes, estos reflejan los siguientes resultados mencionados en la tabla 24 de acuerdo a sus respectivas progresivas.

los mismos nos indica la situación de estabilidad del talud, podemos ver que algunos análisis nos muestran un factor de seguridad mayor a 1 esto podría considerarse que son estables, pero no garantizan seguridad y requiere alguna protección para que no se deslice.

también podría darse como solución la cobertura de enmallado, o simplemente un peinado al talud con una pendiente que garantice la mejor estabilidad del mismo.

Mediante el programa Slide 6.0 podremos determinar la falla ocasionada en talud o el círculo de corte que se ocasiona en diferente talud a estudiar. pero mediante este mismo programa daremos algunas alternativas d solución que se muestra en anexos, determinando en algunos casos dar más pendiente al talud y en otros casos hacer banquetas de acuerdo al tipo de suelo que nos ofrece el tramo.

5.2. Recomendaciones

La identificación de los taludes de suelos residuales y rocas son un tanto dificultosas; pero, importantes para tomar previsiones sobre este problema, para la misma será preciso realizar una visita al lugar. La inspección se deberá realizar partiendo del panorama general hacia los detalles particulares. Tales como: la inclinación de las laderas y sus cambios de pendiente, relacionándolos con las variaciones de materiales que indique la Geología superficial. De todo el diagnóstico realizado por la inspección técnico visual determinar e identificar la estabilidad del talud de suelo residual.

En la gran mayoría de los casos será muy difícil proveer la existencia de futuros deslizamientos, y el Ingeniero deberá limitarse a extremar sus precauciones en aquellos lugares en que exista una secuencia de materiales digna de desconfianza.

Es recomendable que las muestras de masa que sean tomadas del talud en análisis estas no sufran alteraciones, para que así se obtengan resultados más reales y verídicos del lugar que se esté estudiando y para que así no se tenga valores errados.

Una recomendación que no puede pasar desapercibido para las personas que trabajan dentro del tema de la estabilización de taludes, que se deben realizar los ensayos de

resistencia al cortante efectuados en los suelos de nuestro país agrupan del lado conservador a los ensayos de laboratorio convencionales efectuados en estado saturado, esto es ensayos clasificación de rocas ,su resistencia ; y del lado más real a los ensayos de campo que arrojan siempre valores mucho más confiables que los ensayos de laboratorio.

Si se quiere aplicar la protección con vegetales se debe tener muy en cuenta la experiencia local a la zona del proyecto, se debe acudir a los expertos forestales y además recurrir a los comunarios de la zona en donde el estudio se realiza ya que ellos son los que conocen mejor que nadie quizás la vegetación de su región, en base a esas características escoger la especie de vegetación para su aplicación.

Finalmente se presenta como recomendación la utilización de un sistema computarizado para el cálculo de estabilidad de taludes mediante el método de círculo de falla programa Slide 6.0 para suelos de distintas características y fenómenos naturales que se pueden presentar.