

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La erosión acelerada por la intervención del hombre, sobre todo, en la apertura de vías de comunicación, es un problema con consecuencias graves a medida que pasa el tiempo, afecta de manera preocupante al medio ambiente, tornándose un problema ecológico. En la mayor parte de los lugares afectados, se realizan movimientos de tierras en volúmenes considerables, sin prever las consecuencias, al igual se va eliminando la cubierta vegetal natural de muchas tierras. Cuando esto ocurre en áreas de fuerte pendiente y alta pluviosidad, se provoca un incremento en el proceso de erosión y riesgo de los materiales de los taludes que pierden estabilidad, por lo que deben buscarse acciones de refuerzo para eliminar o minimizar los riesgos.

Para analizar y cuantificar estos procesos erosivos en los taludes y para llegar eventualmente a la instalación de las medidas de refuerzo más recomendables, se necesitan metodologías de análisis de manera que la estabilidad de los taludes a través de los refuerzos a realizarse pueda evitar los riesgos en el desprendimiento y deslizamiento de los taludes, lo cual depende de las características del suelo, de la pendiente, del tipo de cobertura vegetal y estabilidad.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Un adecuado sistema de vías de comunicación terrestre, constituye uno de los pilares fundamentales en el desarrollo económico y social de las regiones. La calidad de vida de sus habitantes mejora ostensiblemente al efectuarse el tráfico de personas y mercaderías de forma más cómoda, económica y segura.

Sin embargo, la construcción de las estructuras viarias supone, casi siempre, un gran impacto aparte de una gran inversión. Se modifica el paisaje primitivo al realizarse importantes movimientos de tierras, se destruyen suelos agrícolas o forestales, se fragmenta el territorio, afecta la flora y la fauna, se altera el drenaje de las aguas superficiales y subterráneas, etc.

Entre los impactos más destacados, se halla la creación de nuevas superficies carentes de vegetación, que conforman las medianas, los enlaces, los desmontes y terraplenes. Estos últimos generalmente tienen fuertes pendientes y quedan expuestos a las acciones naturales de los agentes atmosféricos, sufriendo un continuo proceso de degradación e inestabilidad.

A lo largo de muchos años en proyectos de vías de comunicación, los materiales adyacentes de autovías, autopistas o carreteras, se tienen definidos en su estructura de su sección, los taludes cuya palabra talud se ha venido utilizando para identificar esos diferentes tipos de terreno. En este estudio, cada vez que se cite el término talud se entenderá que se trata de una superficie más o menos inclinada, producida al construirse una vía de comunicación, sobre la que hay que realizar medidas de corrección.

Se eligió el tema porque las grandes o simples vías de comunicación, obligan a grandes movimientos de tierras que dan lugar a la aparición de taludes de gran tamaño, ya sean en desmonte o terraplén, y como el departamento de Tarija se encuentra en pleno desarrollo, se pretende efectuar el estudio sobre las alternativas de protección y su relación con los riesgos de deslizamientos y desprendimientos en los taludes existentes en carreteras, también realizar el estudio de las diferentes alternativas que se puede tener para la protección de nuevos taludes y el riesgo que implica cada una de las protecciones.

El presente estudio es importante desarrollarlo porque no es frecuente encontrar en la bibliografía especializada relaciones directas entre los materiales de los taludes de vías de comunicación y el riesgo de amenaza de deslizamiento que tiene cada una de estas, siendo

en consecuencia importante definir el tipo de refuerzo para minimizar los riesgos que tiene cada talud de la obra vial.

Se pretende que los resultados que se obtengan en el presente estudio permitan a los proyectistas una clara referencia de la relación entre los distintos taludes de vías de comunicación, las características de los materiales que la componen y el tipo de refuerzo que es conveniente tengan de manera que se aminore las amenazas de deslizamientos.

1.3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El problema que se presenta en la carretera Santa Ana – Yesera Norte, es que las áreas adyacentes donde están formados los taludes, tienen un comportamiento que en varios casos producen deslizamientos y desprendimientos, causados por el proceso erosivo acelerado por consecuencia de la escorrentía del agua de lluvias pasadas, debido a la exposición del terreno sin que se haya dado protección acorde al tamaño y ángulo de los cortes, los deslizamientos y desprendimientos pueden ocasionar deterioros en plataforma y riesgos de amenaza en los usuarios, por tanto dificultan la conservación de las carreteras, los efectos de estos fenómenos se traducen en la paralización parcial o total de la carretera como también el desembolso de grandes sumas de dinero en su rehabilitación, al ocurrir estos problemas en las carreteras las personas que transitan por las mismas están expuestos a accidentes que pueden cobrar vidas humanas, por ello es importante buscar alternativas de refuerzo que le den estabilidad a los taludes de carreteras y así reducir los riesgos de deslizamientos y/o desprendimientos.

1.4. HIPÓTESIS

Si al analizar los taludes de carreteras, están con la posibilidad de sufrir deslizamientos y desprendimientos de materiales, entonces es necesario la implementación de alternativas de protección mediante el análisis de los modelos de Janbú, Fellenius, Morgenstern-Price que definan un factor de seguridad aceptable.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Estudiar las alternativas de protección de taludes del tramo Sana Ana – Yesera Norte mediante los modelos de Janbú, Fellenius, Morgenstern-Price que nos permita tener un parámetro adecuado del factor de seguridad.

1.5.2. Objetivos específicos

- Describir las características generales de taludes de carretera para obtener los elementos necesarios sobre los mismos para desarrollar el trabajo.
- Analizar la estabilización de taludes por los modelos de Janbú, Fellenius, Morgenstern-Price.
- Evaluar las alternativas de protección superficial en taludes de carretera y su aplicabilidad en el medio.
- Establecer los precios unitarios referenciales de los refuerzos a utilizar.
- Establecer las conclusiones y recomendaciones acerca del trabajo desarrollado.

1.6. ALCANCE DEL ESTUDIO

Para el estudio de estos taludes, se analizará la zona para ver sus características, se ubicará los taludes a estudiar, se realizará los ensayos de laboratorio respectivos, se utilizará como herramienta el programa computacional Slide v6.0 para determinar el factor de seguridad presente en los métodos mencionados y así lograr evidenciar luego del procesamiento en el programa la inestabilidad en los mismos, para que a partir de ello se determine alternativas de solución definitivas estructurales como también el planteamiento de alternativas de mitigación para contrarrestar los deslizamientos en este importante tramo, a través de un análisis técnico-económico con el fin de lograr obtener un valore de factor de seguridad adecuado y garantizar la seguridad vial en el tramo carretero de estudio.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LOS TALUDES

2.1 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS TALUDES

2.1.1 Generalidades

Las carreteras son el medio de comunicación más importante del país del cual depende gran parte de la economía, por ello debe tener una circulación vehicular óptima. Gran parte del territorio de nuestro país pertenece a la zona montañosa por lo cual el diseñar una carretera en ella implica la presencia de gran cantidad de taludes tanto en corte como en relleno (terraplenes).

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

Las obras de infraestructura lineal (carreteras y ferrocarriles), canales, conducciones, y en general cualquier construcción que requiera una superficie plana en una zona de pendiente, o alcanzar una profundidad determinada por debajo de la superficie, precisan la excavación de taludes (desmontes si dan lugar a un solo talud y trincheras si la excavación presenta un talud a cada lado).

Los taludes se construyen con la pendiente más elevada que permite la resistencia del terreno, manteniendo unas condiciones aceptables de estabilidad.

En el estudio de la estabilidad de taludes se abordan fenómenos de estado último o de rotura de masas de suelo. El “agente” externo responsable de la inestabilidad es una fuerza de masa: el peso y eventualmente los efectos de filtración a los que debe añadirse, generalmente como factor secundario, posibles cargas externas.

La determinación cuantitativa de índices de riesgo o seguridad exige sin embargo el empleo de técnicas y modelos propios de la mecánica del suelo o de las rocas. El desarrollo de modelos de cálculo es solo una parte del problema y, en general, cuando se trata de laderas naturales, habrán de integrarse los estudios y aportaciones geológicas y geomorfológicas con técnicas de análisis, predicción y corrección, en su caso.

Un abordaje clásico, simplista, rápido y económico del análisis de estabilidad de un talud es todavía una inicial alternativa para una posterior programación de proyectos geotécnicos más refinados y sofisticados. Pero este tipo de análisis inicial no sería en la actualidad tan útil si no se tuviera herramientas expeditas de cálculo como son los programas, rutinas y funciones desarrollados en código abierto.

De este modo, la estabilidad de taludes naturales y construidos es uno de los aspectos más importantes de la ingeniería geológica, pues está presente en la mayoría de las actividades constructivas tanto en obras viales como en centros urbanos y es la actividad más solicitada a resolver por los ingenieros geotecnistas.

2.1.2 Características de los taludes

2.1.2.1 Definición de taludes

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

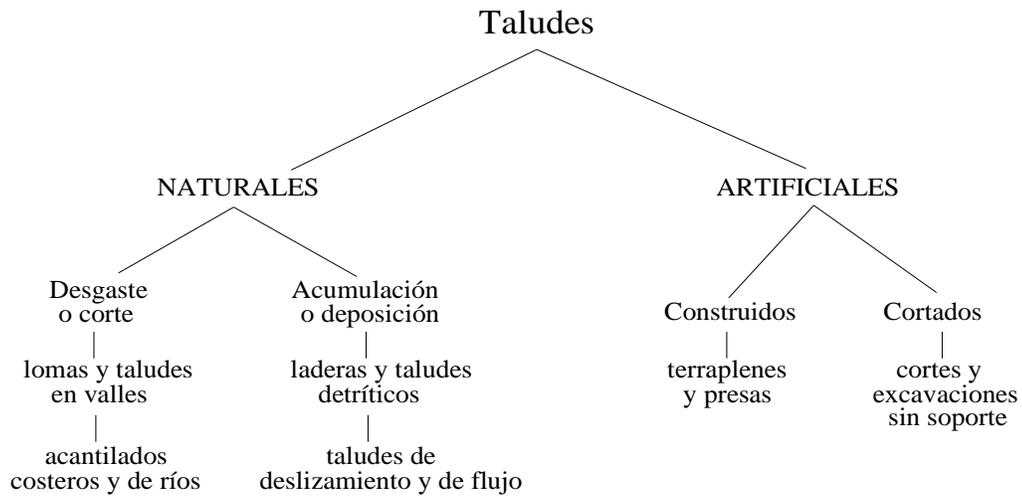
La inestabilidad de taludes es entendida como la tendencia que tienen todos los taludes a moverse y fallar, originándose un consiguiente movimiento de masa. Este movimiento de masa, es por lo general, el resultado de la falla al corte que se produce en una superficie interna del talud; pudiendo deberse también a la disminución del esfuerzo efectivo

existente entre partículas que ocasiona la licuefacción del suelo. La resistencia a la falla en taludes radica principalmente en la resistencia al cortante del suelo mismo y en la geometría del talud.

Hoy en día, debido al incremento de obras de ingeniería relacionadas con cortes y rellenos, la necesidad de entender métodos analíticos, y métodos de estabilización que puedan resolver el problema de estabilidad de taludes ha ido creciendo, es por esta razón que se hace fundamental el entendimiento de la geología, hidrología, y de las propiedades del suelo, de tal modo que estos conceptos básicos sean aplicados de manera correcta al problema de estabilidad de taludes.

Existen dos tipos de clasificaciones de los taludes, que son las siguientes:

Figura 2. 1 Taludes naturales o laderas y artificiales.

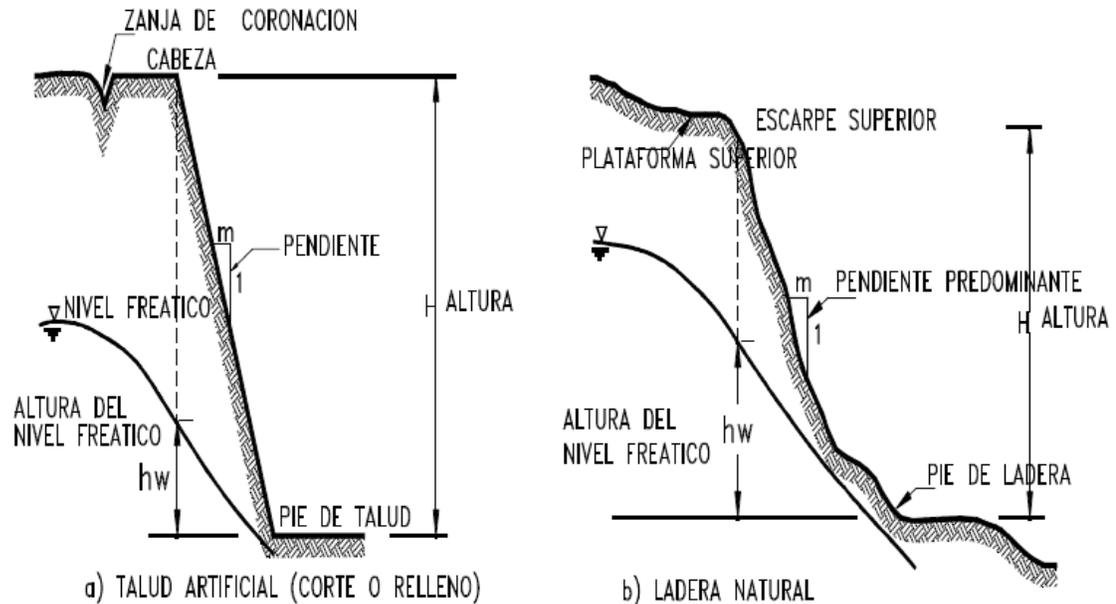


Fuente: Salinas Pereira. 2005.

a. Taludes naturales o laderas.- Son los que se formaron sin ninguna participación del hombre. Las laderas que han permanecido estables por muchos años pueden fallar en forma imprevista debido muchas veces a los cambios topográficos, sismos, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización, o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad.

b. Taludes artificiales.- Cuando los taludes son hechos por el hombre se denominan cortes o taludes artificiales, según sea la génesis de su formación; en el corte, se realiza una excavación en una formación térrea natural (desmontes), en tanto que los taludes artificiales son los lados inclinados de los terraplenes.

Figura 2. 2 Nomenclatura de taludes y laderas



Fuente: Suárez Díaz. 1998.

2.1.2.2 Componentes de un talud

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

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

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

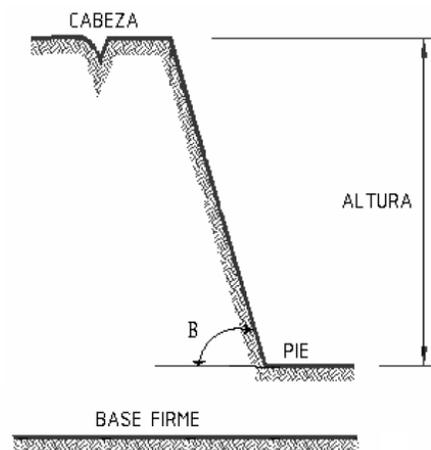
Cabeza o cresta.- Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

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

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

Base firme.- Es el estrato con mayor resistencia que el suelo del cuerpo del talud y que no es penetrado por la superficie del deslizamiento.

Figura 2. 3 Inclinación de un talud



Fuente: Cujar Chamorro. 2008.

La inclinación (B) de un talud depende de:

Altura del talud.

Condiciones topográficas.

Estructuras geológicas.

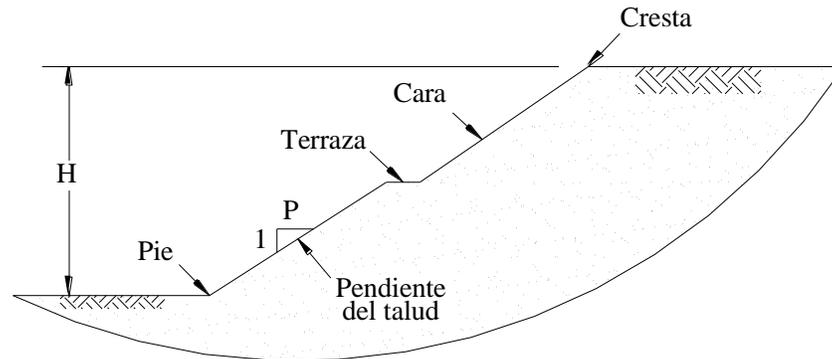
Tipo de suelo o roca.

Resistencia al esfuerzo cortante del suelo.

La cara del talud.- Es la superficie del terreno situada entre la cresta y el pie del talud.

La terraza.- Es un área estrecha ubicada a un cierto nivel del talud con el objeto de facilitar la colocación de superficies de drenaje.

Figura 2. 4 Nomenclatura usada para describir taludes.



Fuente: Salinas Pereira. 2005.

2.1.2.3 Taludes en vías de comunicación

Cuando el ingeniero va a construir vías terrestres se ve enfrentado a problemas de inestabilidad tanto en corte como en terraplenes. Ambos casos son esencialmente diferentes.

No es muy frecuente la falla de terraplenes, esto debido, posiblemente a que estas estructuras se construyen con materiales seleccionados en principio, la construcción se realiza bajo normas las cuales han tenido un avance significativo en los últimos años y por lo tanto estas estructuras se consideran homogéneas y presentan un comportamiento predecible.

En cambio, en los cortes el ingeniero está atenido al uso riguroso de los materiales existentes (in situ) con toda la heterogeneidad que la naturaleza lo haya dispuesto, por lo tanto, la influencia del constructor es limitada, de tal manera que la influencia del ingeniero debe ser diferente de un caso a otro.

En general la construcción de los terraplenes es una tarea rutinaria y no ofrece dificultad, sin embargo, existen algunos casos que hacen muy crítica su construcción tales como:

Terraplenes en suelo blando.
Terraplenes en cañadas de terreno montañoso.
Terraplenes en laderas inclinadas.
Accesos a puentes y pasos a desnivel.
Terraplenes sobre suelos licuables.
Terraplenes con riesgo de tubificación.

Los cortes en cambio por su heterogeneidad, presentan frecuentes problemas de estabilidad que con ciertos cuidados pueden ser superados, sin embargo, algunos casos que exigen tratamientos especiales en su construcción, tales como:

Cortes de gran altura.
Cortes de laderas inestables.
Cortes sujetos a flujos de agua.
Cortes en suelos erosionables.

El análisis de la estabilidad de un talud es un problema de predicción de la estabilidad, con el objeto de tomar medidas preventivas y/o correctivas.

Para hacer el análisis de estabilidad de un talud es necesario tener en cuenta los siguientes puntos:

- a) Reconocer y clasificar el tipo de falla, definir sus características más sobresalientes
Ej.: Causas del deslizamiento, velocidad del movimiento.
- b) Identificar y clasificar los materiales involucrados en el movimiento, definir sus propiedades físicas y mecánicas.
- c) Seleccionar el método para el cálculo de la estabilidad del talud.
- d) Correlacionar las observaciones de campo con los resultados del cálculo.

2.1.3 Propiedades de los taludes

2.1.3.1 Cohesión

La cohesión es una medida de la adherencia entre las partículas de suelo. La cohesión en la mecánica de suelos, es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación entre las partículas, mientras que en la física, este término se utiliza para representar la resistencia a la tensión. Suarez Díaz. (1998).

Para el caso de suelos compuestos de partículas con forma granular, la trabazón entre partículas, origina estructuras granulares simples y la fricción que se origina entre ellas contrarresta el deslizamiento de unas respecto a otras. A este comportamiento se lo identifica como la cohesión para el caso de suelos granulares, donde el suelo presenta resistencia contra su disgregación ocasionada por un agente externo.

El grado de cohesión que presentan los suelos granulares, está en función a la textura de las partículas de forma granular. Las partículas con textura angular logran que el suelo tenga cohesión, mientras que las partículas con textura redondeada no contribuyen a la cohesión del suelo.

Tabla 2. 1 Cohesión de algunos suelos.

Tipo de suelo	Cohesión kg/cm ²
Gravas	-
Arenas	-
Arcilla blanda	0,05 – 0,10
Arcilla mediana	0,25 – 0,50
Arcilla firme	0,60 – 0,80
Arcilla muy firme	0,80 – 1,00
Arcilla dura y compacta	1,00 – 1,20
Arcilla arenosa densa	0,40 – 0,60
Arcilla arenosa suelta	0,10
Limo	0,10 – 0,30

Fuente: Fratelli. 1993.

2.1.3.2 Fricción interna

Es la resistencia al deslizamiento causado por la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas y de su densidad. Como los suelos granulares tienen superficies de contacto mayores y sus partículas, especialmente si son angulares, presentan una buena trabazón, tendrán fricciones internas altas, en cambio, los suelos finos las tendrán bajas.

La fricción interna de un suelo, está definida por el ángulo, cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal aplicada a dicho plano. Suarez Diaz. (1998).

Tabla 2. 2 Ángulo de fricción interna de algunos suelos.

Tipo de suelo	Ángulo de fricción interna grados (°)
Arena con granos redondeados suelta	27 – 30
Arena con granos redondeados media	30 – 35
Arena con granos redondeados densa	35 – 38
Arena con granos angulares suelta	30 – 35
Arena con granos angulares media	35 – 40
Arena con granos angulares densa	40 - 45
Grava con algo de arena	34 – 48
Arcillas consolidadas	20 – 30
Arcilla arenosa	16 – 20
Limos	26 – 35

Fuente: Braja Das. 2013.

Tabla 2. 3 Rango de valores para ángulos de fricción.

Tipo de suelo	ϕ'_{cr}	ϕ'_p	ϕ'_r
Grava	30 - 35	35 – 50	
Mezcla de grava y arena con suelo fino	28 - 33	30 – 40	
Arena	27 - 37	32 – 50	
Limo o limo arenoso	24 - 32	27 – 35	
Arcilla	15 - 30	20 – 30	5 - 15

Fuente: Budhu, 2000.

2.1.3.3 Resistencia al corte

La resistencia al corte se define como el máximo valor de esfuerzo cortante que el suelo puede soportar, existen dos tipos de resistencia al cortante utilizados en el análisis de estabilidad, la resistencia no-drenada y la resistencia drenada. La resistencia no-drenada se utiliza en análisis con esfuerzos totales, mientras que la resistencia drenada se utiliza en análisis con esfuerzos efectivos. Suarez Díaz (1998).

2.1.3.4 Permeabilidad

Esta es usada como un parámetro para evaluar la resistencia que ofrecida el suelo al flujo de agua. La permeabilidad hidráulica depende en gran manera de la estructura del suelo, las propiedades que influyen en la conductividad hidráulica son:

El tamaño de partículas.

La gradación del suelo.

El índice de vacíos del suelo.

La textura y rugosidad de las partículas.

Temperatura.

Viscosidad del fluido.

La conductividad hidráulica (K) es medida en unidades similares a la velocidad, su intervalo de variación para el suelo es muy amplio. Se extiende desde un valor insignificante de 10^{-7} cm/s para el caso de arcillas, hasta un máximo de 100 cm/s para el caso de algunas gravas. Salinas Pereira (2005).

2.1.3.5 Presión de poros

La presión de poros consiste en la presión en el agua dentro de los poros del suelo y se identifica con la letra “ μ ”. Ocurre que cuando esa presión llega a cierto valor, el suelo se vuelve inestable, debido a que las partículas pierden cohesión entre sí.

La presión de poros disminuye los esfuerzos normales efectivos entre las partículas, trata de separarlas y disminuye la resistencia a la fricción. Al colocar una carga se puede producir un cambio en la presión de poros que se denomina como $\Delta\mu$ (exceso de presión de poros) o deficiencia de presión de poros inducidos por las condiciones de carga. Suarez Díaz. (1998).

Si el agua en el suelo no está en movimiento, la altura del agua genera un fenómeno de presión hidrostática:

$$\mu = \gamma_w \cdot Z_w$$

Donde:

γ_w = Peso unitario del agua.

z_w = Profundidad vertical del punto por debajo del nivel de agua freática.

2.1.3.6 Expansividad

Los suelos arcillosos al contacto con el agua expanden su volumen produciéndose movimientos de extensión dentro de la masa del suelo. La expansividad de un suelo se puede medir por medio de ensayos de presión de expansión o expansión libre o por su relación con los límites de plasticidad.

2.1.3.7 Peso específico

El peso específico de un suelo, como relación entre el peso y su volumen, es un valor dependiente de la humedad, de los huecos de aire y del peso específico de las partículas sólidas. Para evitar confusiones, las determinaciones de los ensayos de laboratorio facilitan por un lado el peso específico seco y por otro la humedad. Fijémonos que este término es diferente de la densidad del suelo, que establece una relación entre la masa y el volumen. También suele utilizarse un valor adimensional denominado, peso específico relativo, definido como el cociente entre el peso específico del suelo y el peso específico del agua a una temperatura determinada.

El peso específico de los sólidos de arena, que está compuesta principalmente de cuarzo, se puede estimar en alrededor de 2.65 para suelos arcillosos y limosos, pudiendo variar desde 2.6 hasta 2.9. Braja Das. (2013).

Tabla 2. 4 Peso específicos de sólidos de algunos suelos.

Tipo de suelo	Peso específico gr/cm ³
Grava	2,65 – 2,68
Arena	2,65 – 2,68
Arcilla inorgánica	2,68 – 2,75
Arcilla orgánica	2,58 – 2,65
Limo inorgánico	2,62 – 2,68

Fuente: Fratelli. 1993.

Tabla 2. 5 Peso específicos de sólidos de algunos suelos.

Tipo de suelo	Peso específico
Arena de cuarzo	2,64 – 2,66
Limo	2,67 – 2,73
Arcilla	2,70 – 2,90
Yeso	2,60 – 2,75
Loes	2,65 – 2,73
Turbo	1,30 – 1,90

Fuente Braja Das. 2013.

2.2 ESTABILIDAD DE LOS TALUDES

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

Convencionalmente la teoría divide a los taludes en estables o inestables.

Los **taludes estables**, que son los que no se han caído, tienen un factor de seguridad superior a 1.

Los **taludes inestables**, que son los que se han caído total o parcialmente, tienen un factor de seguridad inferior a 1.

Además, los taludes pueden tener inestabilidades locales aunque sean estables en conjunto. Es más práctico clasificar los taludes en 5 categorías atendiendo al grado de estabilidad Romana, (1993,1995):

Talud totalmente estable.- Sin ninguna inestabilidad local.

Talud estable.- Con alguna inestabilidad local; puede requerir algunos sostenimientos locales o protecciones.

Talud parcialmente estable.- Con bastantes inestabilidades locales; requiere sostenimientos locales o protecciones.

Talud inestable.- Con muchas inestabilidades locales y riesgo de inestabilidad total; requiere un tratamiento general de estabilización.

Talud totalmente inestable.- Con inestabilidad total; no se puede excavar sin un sostenimiento completo y/o necesita re excavación.

En ingeniería, es práctica común definir la estabilidad de un talud en términos de un factor de seguridad (FS), obtenido de un análisis matemático de estabilidad. El modelo debe tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, cargas dinámicas por acción de sismos, flujo de agua, propiedades de los suelos, etc.

Sin embargo, no todos los factores que afectan la estabilidad de un talud se pueden cuantificar para incluirlos en un modelo matemático. Por lo tanto, hay situaciones en las cuales un enfoque matemático no produce resultados satisfactorios. A pesar de las debilidades de un determinado modelo, determinar el factor de seguridad asumiendo superficies probables de falla, permite al ingeniero tener una herramienta muy útil para la toma de decisiones.

Se pueden estudiar superficies planas, circulares, logarítmicas, parabólicas y combinaciones de ellas. La mayoría de los trabajos que aparecen en la literatura sobre el tema asumen que el suelo es un material isotrópico y han desarrollado métodos de análisis de superficies circulares o aproximadamente circulares principalmente.

2.2.1 Factor de seguridad

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

Es el factor de amenaza calculado para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Se define como la relación entre la fuerza total disponible para resistir el deslizamiento y la fuerza total que tiende a inducir el deslizamiento; es decir:

$$FS = \frac{\textit{Fuerza resistente}}{\textit{Fuerza actuante}}$$

El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña.

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

$$FS = \frac{\textit{Momento resistente disponible}}{\textit{Momento actuante}}$$

La condición de equilibrio límite existe cuando el FS es igual a 1. Cuando el talud es estable, las fuerzas resistentes serán mayores que las fuerzas actuantes y cuando el talud es inestable ocurrirá el caso contrario. Por lo tanto, el FS es un índice que define la estabilidad o inestabilidad de un talud.

Tabla 2. 6 Métodos de análisis de estabilidad de taludes

Método	Superficies de falla	Equilibrio	Características
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	De fuerzas	Este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Los factores de seguridad son bajos.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobredeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma de superficie de falla.	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobredeterminada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Los factores de seguridad son bajos.
Sueco Modificado.	Cualquier forma de superficie de falla.	De fuerzas	Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.
Spencer (1967)	Cualquier forma de superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma de superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.
Elementos finitos	Cualquier forma de superficie de falla.	Analiza esfuerzos y deformaciones.	Satisface todas las condiciones de esfuerzo. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos, pero no se obtiene un factor de seguridad.

Fuente: Suárez Díaz. 1998.

2.2.1.1 Rangos del factor de seguridad

Otra decisión que afronta el ingeniero es la decisión sobre el factor de seguridad. Una idea general de los factores a emplear permite recomendar los siguientes factores de seguridad mínimos:

Tabla 2. 7 Criterios para seleccionar un factor de seguridad para diseño de taludes.

Caso	Factor de seguridad
Si puede ocurrir la pérdida de vidas humanas al fallar el talud.	1,70
Si la falla puede producir la pérdida de más del 30% de la inversión de la obra específica o pérdidas consideradas importantes.	1,50
Si se pueden producir pérdidas económicas no muy importantes.	1,20
Si la falla del talud no causa daños.	>1,00

Fuente: Suárez Díaz. 1998.

2.3 PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD DE UN TALUD

Los deslizamientos en un talud son principalmente el resultado de la disminución gradual de la resistencia del esfuerzo cortante del suelo y del incremento de las fuerzas gravitacionales y la influencia de muchos otros parámetros que determinan la estabilidad, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

Geológicos

Hidrológicos e hidrogeológicos

Geométricos

Ambientales y antrópicos

Sobrecargas

2.3.1 Parámetros geológicos

Las estructuras geológicas, los plegamientos, la inclinación o buzamiento de las capas tienen influencia sobre el principio general de deslizamiento.

Así como son de mucha importancia en el deslizamiento la constitución mineralógica y espesores de los materiales.

La geología generalmente, define las características o propiedades del suelo o roca. La formación geológica determina la presencia de materiales duros o de baja resistencia y las discontinuidades pueden facilitar la ocurrencia de movimientos a lo largo de ciertos planos de debilidad.

Los elementos geológicos principales a estudiar son los siguientes:

2.3.1.1. Formación geológica

Los materiales de origen ígneo-metamórfico poseen un comportamiento diferente a los suelos de origen sedimentario, aluviones, coluviones, etc.

2.3.1.2. Estructura y discontinuidades

En los suelos residuales y rocas la estratificación y las discontinuidades actúan como planos de debilidad o como conductores de corrientes de agua subterránea y las características de estas pueden facilitar los movimientos.

2.3.1.3. Meteorización

La descomposición física o química produce alteraciones en la roca o suelo, las cuales modifican substancialmente los parámetros de resistencia y permeabilidad, facilitando la ocurrencia de deslizamientos.

2.3.2. Parámetros hidrológicos e hidrogeológicos

Se sabe de la importancia que tiene el agua en los deslizamientos, ya que los cuales pueden ocurrir a causa del agua superficial o de escorrentía como también a causa del agua subterránea que actúan como detonadores de movimientos en las laderas o taludes y estos se encuentran generalmente, relacionados con las lluvias y la hidrología superficial.

En un estudio de deslizamientos se deben tener en cuenta los parámetros relacionados con la hidrogeología y en especial los siguientes factores:

2.3.2.1. Características de las lluvias

La ocurrencia de períodos lluviosos intensos produce ascensos en los niveles piezométricos y la saturación disminuye las tensiones capilares.

2.3.2.2. Agua superficial o de escorrentía

El agua de la lluvia y el agua producida por el deshielo penetran en las grietas de un suelo produciendo presión hidrostática, también la presión de poros aumenta y por consiguiente la resistencia al corte de los suelos disminuye.

2.3.2.3. Agua subterránea

El flujo de aguas subterráneas ejerce presión sobre las partículas de suelo formando cavidades dentro del talud afectando a su estabilidad. Los cambios bruscos del nivel del agua provocan presión de poros en el talud y esto conlleva a una disminución de la resistencia al esfuerzo cortante.

La infiltración al suelo por las lluvias a través de grietas o fisuras tiende a aumentar flujos sub superficiales y subterráneos, además aumenta la saturación de materiales.

2.3.3. Parámetros geométricos

La conformación topográfica del talud: altura, pendiente, curvatura, largo y ancho, actuando en forma conjunta o separada, afectan la estabilidad de un talud, por cuanto determinan los niveles de esfuerzos totales y las fuerzas de gravedad que provocan los movimientos.

La topografía puede controlar el grado de meteorización, el grado de infiltración y movimiento de agua a través del material del talud, afectando la cantidad de agua disponible, lo cual determina la ocurrencia y características de los niveles freáticos.

El nivel de esfuerzos es también determinado por el volumen y ubicación de los bloques o masas de materiales, factores que dependen de las características topográficas.

Entre los parámetros topográficos a estudiar se pueden extraer los siguientes:

2.3.3.1. Pendiente

Los cambios en la pendiente de un talud pueden ser causados por la intervención natural o artificial ya sea por erosión o por excavación del pie del talud. El aumento en la pendiente de los taludes produce un cambio en los esfuerzos internos de la masa y las condiciones de equilibrio son alteradas por los incrementos en los esfuerzos cortantes.

Mientras algunos suelos residuales de origen ígneo permiten ángulos del talud superiores a 45°, en lutitas meteorizadas saturadas éste no debe exceder los 20° y hasta valores de la mitad del ángulo de fricción.

Según Skempton, teóricamente en suelos granulares limpios y secos el ángulo de inclinación del talud con la horizontal no debe sobrepasar el del ángulo de fricción del material.

2.3.3.2. Curvatura

Se define como concavidad o convexidad ya sea tanto en sentido longitudinal como transversal y afecta el equilibrio de la masa en sí, así como la capacidad de infiltración y de erosión por su efecto en la velocidad del agua de escorrentía.

2.3.3.3. Largo - ancho

Entre más largo sea un talud, mayor recorrido tendrán las aguas de escorrentía sobre éste y por lo tanto el talud estará más expuesto a la erosión superficial.

2.3.3.4. Áreas de infiltración arriba del talud

Es importante identificar áreas de concentración de agua arriba del talud, que coinciden con depresiones topográficas o zonas de regadío intenso. Entre más grande sea la zona que aporte agua al talud, será mayor la cantidad de agua que está afectando la estabilidad del talud.

2.3.4. Parámetros ambientales y antrópicos

El clima ejerce una influencia en la rata de meteorización. Según Blight las reacciones químicas se duplican con cada 10°C de aumento de la temperatura. Factores tales como: evaporación, fuerzas sísmicas, vegetación y modificaciones causadas por el hombre, pueden producir alteración del talud lo cual afecta su inestabilidad.

La vegetación, en general, protege al suelo contra la erosión, aísla al material de agentes atmosféricos, evitando contracciones, cambios de humedad y de temperatura, ayudando a la estabilidad del talud.

Las raíces de los árboles contribuyen a secar los taludes absorbiendo parte de las aguas subterráneas.

Las vibraciones producidas por movimientos sísmicos, explosiones de gran magnitud y vibraciones de máquinas, afectan al equilibrio de los taludes, provocando cambios de esfuerzos temporales debido a oscilaciones de diferente frecuencia.

2.3.5. Sobrecargas

Si sobre la cabeza de un talud o ladera natural se construye un terraplén, edificaciones y otras sobrecargas como la acumulación de materiales por caídos o deslizamientos, éstos originan un incremento en el esfuerzo cortante y en la presión de poros que pueden igualar o rebasar la resistencia al esfuerzo cortante del suelo causando inestabilidad.

2.4 TIPOS DE DESLIZAMIENTOS EN TALUDES

Se denominan deslizamientos, a la ruptura y desplazamiento pendiente abajo, de una masa de suelo, roca o mezcla de ambos en forma lenta o rápida, generalmente de gran magnitud producido por varios factores que influyen en la estabilidad de un talud que fueron mencionados anteriormente.

La mecánica del deslizamiento, origina un movimiento hacia abajo y hacia afuera de toda masa y presenta las siguientes características generales: La parte superior del área denominada zona de arranque o raíz, la cual va precedida de grietas tensionales y asentamientos; la parte central constituida por la superficie de deslizamiento, donde se desplaza todo tipo de material; y la parte inferior, llamada zona de acumulación o lengua, la cual se levanta con grietas radicales.

Teniendo en cuenta una amplia gama de factores que influyen en un deslizamiento o movimiento de masa, es poco probable que exista una rigurosa clasificación, pero puede citarse la siguiente forma que tiene una amplia aceptación:

Deslizamientos ligados a la estabilidad de las laderas naturales.

Deslizamientos relacionados a la estabilidad de taludes artificiales.

Derrumbes y caídas.

Deslizamientos no directamente asociados a la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.

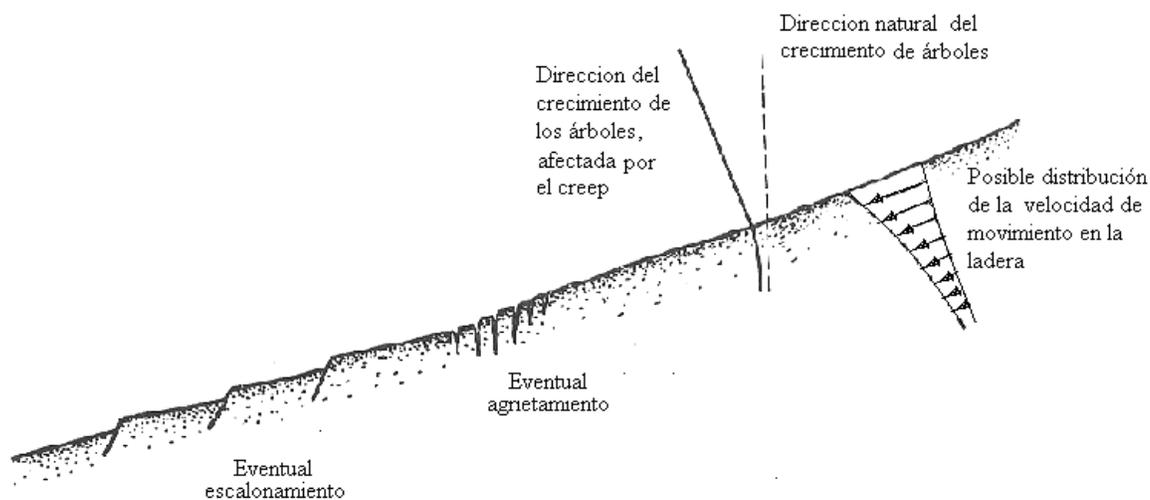
2.4.1. Deslizamientos ligados a la estabilidad de las laderas naturales

2.4.1.1 Deslizamiento superficial (Creep)

Este deslizamiento se refiere a un proceso más o menos continuo y por lo general lento de masas superficiales que se deslizan ladera abajo en algunas laderas naturales. 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.

En rigor debe hablarse de dos clases de Creep (figura 2.5), el estacional, que afecta solo a la corteza superficial de la ladera que sufre su influencia de los cambios climáticos en forma de expansiones y contracciones térmicas o por humedecimiento y secado, y el masivo, que afecta a capas de tierra más profundas, no interesadas por los efectos ambientales y que, solo se puede atribuir al efecto gravitacional.

Figura 2. 5 Signos de deslizamiento superficial o Creep

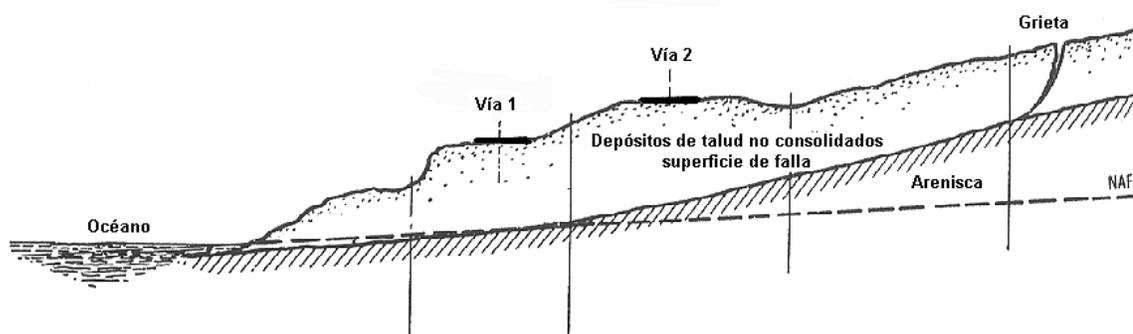


Fuente: Cujar Chamorro. 2008.

2.4.1.2 Deslizamientos asociados a procesos de deformación acumulativa

Se refiere al tipo de deslizamientos 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 deslizamiento quizás es típico de laderas naturales en depósitos de talud formados por materiales bastante heterogéneos, no consolidados y bajo la acción casi exclusiva de las fuerzas gravitacionales. 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. La figura 2.6 muestra una falla real del tipo descrito.

Figura 2. 6 Falla descrita en una ladera natural



Fuente: Suárez Díaz. 1998.

2.4.1.3 Flujos

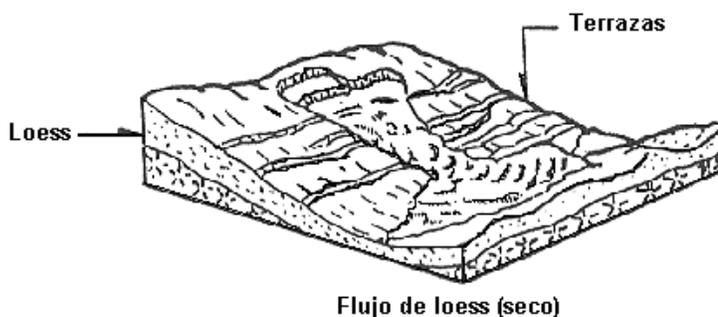
Se refiere este tipo de deslizamiento a movimientos más o menos rápidos de una parte de la ladera natural, de tal manera que el movimiento en sí y la distribución aparente de velocidades y desplazamientos recuerda el comportamiento de un líquido viscoso.

El material susceptible de fluir puede ser cualquier formación no consolidada, y así el fenómeno puede presentarse en fragmentos de roca, depósitos de talud, suelos granulares finos o arcillas francas, son frecuentes los flujos de lodo.

Flujo en materiales relativamente secos. Flujo de tierra

En este grupo quedan comprendidos, en primer lugar, los flujos de fragmentos de roca, desde los muy rápidos (avalanchas) hasta los que ocurren lentamente. Estos movimientos pueden explicarse en términos de la falla plástica de los contactos profundos entre los fragmentos de roca.

Figura 2. 7 Flujo en materiales secos

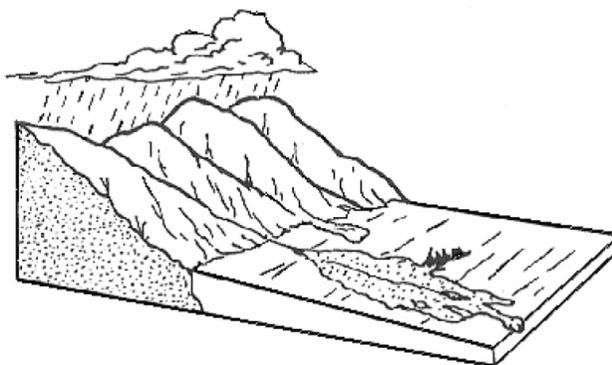


Fuente: Suárez Díaz. 1998.

Flujo en materiales húmedos. Flujos de lodos

Son flujos que requieren una proporción apreciable de agua contenida en el suelo, la cual desempeña un papel en la génesis y naturaleza de la falla, existe amplia graduación en la cantidad de agua que pueden contener los materiales, así como en el papel que ésta llega a tener en el desarrollo de la falla.

Figura 2. 8 Flujo en materiales húmedos



Fuente: Suárez Díaz. 1998.

2.4.2. Deslizamientos relacionados a la estabilidad de taludes artificiales

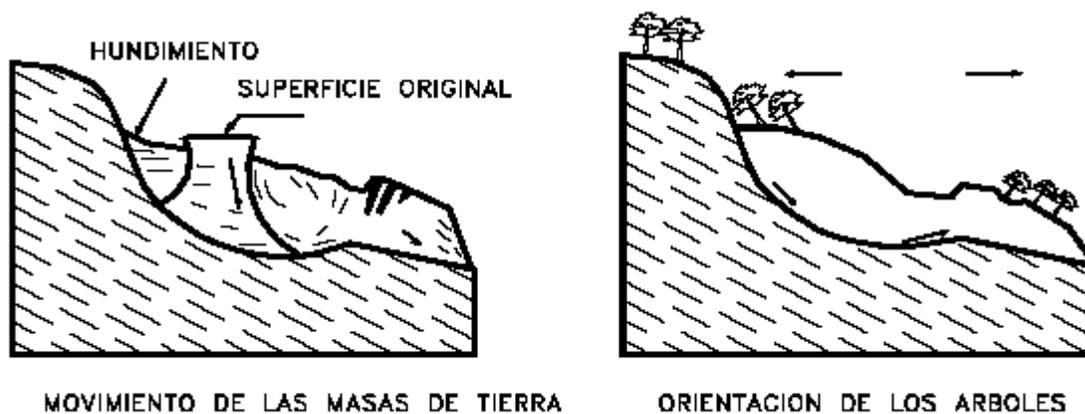
2.4.2.1 Deslizamiento rotacional

El deslizamiento de tipo rotacional puede producirse a lo largo de superficies de fallas identificables con superficies cilíndricas o conoidales cuya traza con el plano del papel sea un arco de circunferencia o pueden adoptar formas algo diferentes por el perfil estratigráfico y la naturaleza de los materiales.

Desde luego los deslizamientos rotacionales de forma circular ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos, en general, afectan a zonas relativamente profundas del talud, siendo esta profundidad mayor cuánto más escarpado sea aquél.

Los deslizamientos rotacionales circulares pueden ser de cuerpo de talud o de base, las primeras se desarrollan sin interesar al terreno de cimentación, en tanto que las segundas se desarrollan parcialmente en él. Producido el deslizamiento, la cabeza de la falla puede presentar taludes casi verticales, por lo que tenderán a producirse nuevas fallas.

Figura 2. 9 Deslizamiento rotacional típico



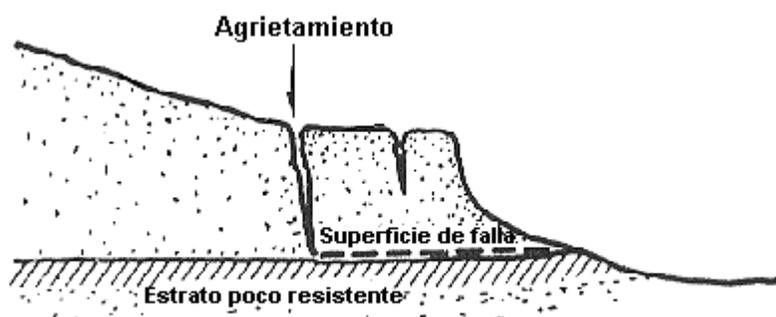
Fuente: Suárez Díaz. 1998.

2.4.2.2 Deslizamiento traslacional

Estos deslizamientos, por lo general, consisten en movimientos traslacionales importantes del cuerpo del talud sobre superficies de falla básicamente planas, asociadas a la presencia de estratos poco resistentes localizados a poca profundidad bajo el talud.

Los estratos débiles que fomentan estos deslizamientos son, por lo común, de arcillas blandas o de arenas finas o limos no plásticos sueltos. La debilidad del estrato está ligada a elevadas presiones de poro en el agua contenida en las arcillas o a fenómenos de elevación de presión de agua.

Figura 2. 10 Deslizamiento traslacional



Fuente: Cujar Chamorro. 2008.

2.4.3. Derrumbes y caídas

Estos deslizamientos consisten en desprendimientos locales de no muy grande volumen, aunque naturalmente existen desprendimientos de grandes masas fragmentadas que se deben clasificar como derrumbes.

En estos deslizamientos no puede hablarse de una superficie de deslizamiento, y el desprendimiento suele estar predeterminado por las discontinuidades y fisuras preexistentes.

2.4.4. Deslizamientos no directamente asociados a la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos

Se mencionará a los principales temas de estudio, las fallas por erosión, tan frecuentes y perjudiciales en los terraplenes y cortes en las vías terrestres. Se trata del resultado del ataque superficial de los agentes erosivos sobre los materiales que componen el talud (el viento y el agua). La falla se manifiesta en irregularidades, socavones y canalizaciones en el plano del talud, originalmente regular, pasado un tiempo si no se detienen estos efectos podrán progresar hasta la eventual destrucción del talud.

En segundo lugar, conviene mencionar las fallas por tubificación, comienza cuando hay arrastre de partículas de suelo en el interior de la masa por efecto de las fuerzas erosivas generadas por el flujo de agua. Una vez que las partículas empiecen a ser removidas van quedando en el suelo pequeños canales, por los que el agua circula a mayor velocidad, de manera que el fenómeno de tubificación tiende a crecer continuamente una vez que comienza. Un factor que contribuye mucho a la tubificación es la insuficiencia de compactación en el terraplén.

En tercer lugar, se debe hacer referencia a las fallas por agrietamiento pudiendo ser éstos tanto en el sentido transversal como en el longitudinal. Los primeros ocurrirán por asentamiento diferencial a lo largo del eje del camino y solo serán de consideración en el caso de terraplenes construidos sobre suelos blandos. El agrietamiento longitudinal ocurre sobre todo por movimientos diferenciales de los hombros del terraplén y su parte central.

2.5 PROTECCIÓN DE TALUDES

2.5.1 Definición de protección de taludes

En la mayoría de los proyectos de infraestructura vial es preciso efectuar desmontes importantes, teniendo en cuenta la orografía. Durante las excavaciones se aplican distintos métodos de arranque, según las características geo mecánicas de los macizos más

competentes, desde el arranque directo con excavadoras, tractores de oruga o incluso mototraílas en terrenos más blandos.

Desde hace varios años se viene aplicando diversos métodos de clasificación geomecánica para evaluar la inestabilidad real o potencial de los taludes y las técnicas de corrección necesaria en cada caso. Este es un campo en el que se ha progresado significativamente, llegándose a una mejor comprensión de los procesos de inestabilidad y a una valoración cuantitativa de los mismos.

En la apertura de vías de comunicación la mayoría de los taludes quedan expuestos durante mucho tiempo a los agentes atmosféricos y a otros fenómenos, induciéndose en ellos una degradación progresiva, que muy rara vez se contempla durante la etapa de diseño en la elaboración de los proyectos y que exige, en determinados momentos, tanto trabajos de mantenimiento, como de protección para evitar daños o riesgos innecesarios.

El proceso por el que se modifican las estructuras y la composición tanto de los taludes como de los macizos rocosos en general, debido a su exposición, se conoce como meteorización, y afecta a las propiedades físicas y químicas de los materiales de los que se componen. En nuestro país, debido a sus características climáticas y geográficas la erosión superficial de taludes desempeña un papel importante a la hora de hablar de alteraciones naturales del terreno. La erosión superficial es provocada principalmente por escurrimientos de agua y por la acción del viento. Los materiales arrastrados de los taludes por la erosión ocasionan diversos problemas a las vías de comunicación, como su obstrucción a causa de los deslizamientos.

2.5.2 Tipos de obras de protección

Tan pronto se comprueba que hay un riesgo de inestabilidad de un determinado talud, se debe buscar la mejor solución de protección y considerar aspectos de costo, naturaleza de las obras afectadas (tanto en cresta como en el pie del talud), tiempo estimado en que se puede presentar el problema, disponibilidad de materiales, etc.

Cada caso de problemas de estabilidad en taludes tiene una solución particular de protección de refuerzo, la cual está en función de: el tipo de terreno, el tipo de obra, las limitaciones de espacio, el costo de la obra, el tiempo de ejecución.

Entre los principales procedimientos para proteger y reforzar a los taludes contra la erosión superficial están:

- Hormigón lanzado.
- Mallas de acero de alta resistencia.
- Vegetación.
- Geo textiles.
- Obras de drenaje superficial.

2.5.2.1 Hormigón lanzado

Definición

El hormigón lanzado es un mortero cuyo tamaño máximo de áridos no excederá de 8 mm, y que se proyecta a gran velocidad sobre una superficie, mediante el empleo de maquinaria especializada, utilizando los medios necesarios para alcanzar las alturas deseadas.

Partiendo de numerosas experiencias se ha llegado a comprobar que el hormigón lanzado es una de las mejores soluciones para estabilizar taludes que por su altura y o características geológicas, pueden llegar a fallar con el tiempo.

Se trata de una solución integral ya que permite controlar la erosión y al mismo tiempo evitar el deterioro del talud. Este tipo de hormigón tiene una alta resistencia a la compresión y también al cortante, siendo este último parámetro muy importante para lograr la estabilidad final del talud.

Tabla 2. 8 Características hormigón lanzado.

Tratamiento	Función	Aplicaciones
Hormigón lanzado	Contención de tierras	Taludes rocosos y de material no cohesivo

Fuente: Desnivel obras. 2012.

Usos generales del hormigón lanzado

El hormigón lanzado ofrece ventajas sobre el hormigón convencional en muchos tipos de trabajos de construcción y reparación.

El hormigón lanzado es frecuentemente más económico que el hormigón convencional, debido a que necesita menos trabajo de cimbra y requiere solamente una pequeña planta portátil para mezclado y colocación en las áreas más inaccesibles.

Una propiedad importante del hormigón lanzado es su facilidad para formar una excelente adherencia con varios materiales. Tiene características impermeables aun en secciones delgadas, y se pueden usar aditivos para asegurar su impermeabilidad.

El hormigón lanzado puede ser usado en:

- a) Estructuras nuevas (especialmente secciones plegadas o curvas), Por ejemplo: techos, paredes, tanques pres forzados, recipientes, albercas, taludes, túneles y alcantarillas de aguas negras.
- b) Recubrimientos de mamposterías de ladrillo, concreto, piedra o acero para protección o presentación.
- c) Recubrimiento de taludes en carreteras.
- d) Recubrimiento de estructura de concreto, losas, muros de concreto y mampostería, bóvedas de ladrillo y mampostería.
- e) Reparación de estructuras de concreto dañadas, tales como puentes, revestimientos de tanques, presas, túneles, chimeneas y estructuras marítimas.
- f) Reparaciones generales de concreto descascarado en edificios antiguos de concreto reforzado.
- g) Reparaciones de estructuras de concreto y mampostería dañadas por sismos o incendios.

Propiedades

El hormigón lanzado aplicado correctamente es un material estructural versátil, que posee gran durabilidad y una excelente adherencia con el hormigón, mampostería, acero, madera y otros materiales. Estas propiedades favorables del hormigón lanzado dependen de una correcta planeación y supervisión, de la habilidad y atención continua del equipo de hormigón lanzado. Son necesarias técnicas de prueba especializadas y se recomienda que éstas se efectúen en la obra.

Generalmente se recomienda dosificar los materiales en peso. La curva de composición deberá tener una granulometría máxima de 8 mm. Como primera aproximación, la dosificación de cemento será 400 kg/m^3 . Para la vía húmeda, la relación A/C (agua/cemento) estará comprendida generalmente entre 0,40 y 0,50.

Materiales

Cemento

El cemento portland a usarse en el hormigón lanzado debe cumplir los requisitos de calidad respectivos. Si el hormigón lanzado está expuesto a suelo o agua freática que contengan elevadas concentraciones de sulfatos disueltos, deberán usarse cementos resistentes a los sulfatos. Cuando las exigencias estructurales requieran alta resistencia rápida, se preferirá el empleo de un cemento portland de endurecimiento rápido.

Se pueden utilizar para elaborar los hormigones lanzados todos los cementos portland existentes en el país que cumplan con las exigencias de las normas.

Agregados

Los agregados deberán ser uniformes y sin presencia de impurezas. La arena para el hormigón lanzado deberá satisfacer los requisitos de la norma para los agregados finos. Generalmente, deberá especificarse un graduado de 5 mm a fino, pero puede usarse también arena más gruesa.

Puede usarse arena que no cumpla con la granulometría anterior, si las pruebas preliminares establecen que proporciona buenos resultados. Así mismo, la arena empleada para acabados, recubrimientos rápidos y ciertos usos especiales, puede ser más fina que la de esa granulometría. Sin embargo, debe tenerse en cuenta, que las arenas más finas generalmente originan una contracción mayor por secado, las arenas más gruesas dan más rebote.

Para secciones de varios centímetros de espesor, puede ser ventajosa la incorporación de agregados más gruesos en la mezcla, siempre que se disponga de un equipo adecuado para lanzarlo.

Cuando se usen los agregados más gruesos, deberán satisfacer los requisitos especificados en la norma. Deberán rechazarse el sobre-tamaño o los de forma alargada cribándolos, ya que es posible que ocasionen taponamientos de la manguera.

Agua

El agua para el mezclado y curado deberá ser limpia y libre de sustancias que puedan ser dañinas al hormigón. Se considera como satisfactorias las aguas clasificadas como potables, con PH entre 5,8 a 8,0 y que atiendan las exigencias de la norma.

Cuando la apariencia sea un factor importante, el agua para curar también deberá estar libre de elementos que puedan ocasionar manchas.

Aditivos

Puede ser deseable incluir aditivos en el hormigón lanzado para usos y condiciones de colocación especiales. Empleando con cuidado los aditivos que pueden producir resultados muy satisfactorios, pero algunos aditivos que han sido satisfactorios en el hormigón normal, pueden no ser útiles en el hormigón lanzado.

Los aditivos solubles deberán disolverse en agua antes de agregarse a la mezcla. Los aditivos, generalmente, se mezclan en un tambor o tanque con agua y la solución se bombea a la boquilla. Los polvos insolubles se mezclan con el cemento antes que éste se mezcle con el agregado.

Aplicación

La superficie sobre la cual será aplicado el hormigón lanzado, deberá ser tratada de forma adecuada antes de la operación de lanzamiento, para garantizar la limpieza, puede ser conseguida con chorros de agua a presión o con chorros de aire comprimido.

Superficies blandas o mojadas por infiltraciones deberán recibir solamente chorros de aire comprimido (fotografía 2.1).

Fotografía 2. 1 Limpieza de talud con aire comprimido



Fuente: Folleto Maccaferri

Deberán ser evitados excesos de agua dentro del entorno de las áreas y locales que recibirán el hormigón lanzado. A criterio deberán ser ejecutados drenes para captación de agua, con una profundidad y espaciamientos adecuados, conforme indicaciones en los diseños del proyecto.

El operador deberá mantener la punta de lanzamiento a 1 m de distancia del punto de aplicación y conservar el chorro en dirección normal a la superficie de incidencia (fotografía 2.2).

Fotografía 2. 2 Aplicación de hormigón lanzado



Fuente: Folleto Maccaferri

El hormigón lanzado deberá ser siempre aplicado con movimientos circulares de la punta de lanzamiento, para minimizar la reflexión.

El operador deberá estar atento a las condiciones de la superficie a recibir, especialmente cuando esta se encuentra húmeda, pues en este caso, exigirá menor volumen de agua y mayor cantidad de aditivo, cuyas cantidades deberán ser adecuadamente controladas. Por ser higroscópicos, los aditivos deberán ser protegidos de la atmósfera húmeda, puesto que se podrían adherir a las paredes del alimentador y formar grumos que producen dosificaciones irregulares.

Las superficies verticales o inclinadas deben ser revestidas de abajo hacia arriba, cuando corresponda a una misma etapa de hormigonado.

Para obtener los espesores especificados por el proyecto, el hormigón lanzado deberá ser ejecutado en sub-camadas, debiendo el cemento del hormigón de la sub-camada anterior estar entre la fase inicial y final, y dar adherencia cuando la aplicación siguiente tenga un espesor no superior a cinco (5) centímetros. El intervalo entre dos aplicaciones, deberá

estar comprendido entre treinta (30) minutos a una hora. Las sub-camadas aplicadas deberán tener la misma dosificación y la misma relación agua/cemento.

En el caso de que la primera camada de hormigón sea ejecutada sobre arena con poca cohesión o en suelos plásticos muy húmedos, deberá ser fijada sobre una superficie, previamente al lanzamiento, una tela metálica, principalmente en la región del techo.

Una eventual presión de agua en el hormigón lanzado, luego de su aplicación, podrá ser minimizada con perforaciones e instalación de barbacanas. Estos podrán ser sujetados por la próxima camada de hormigón lanzado.

Cuando el trabajo, por cualquier motivo, fuese suspendido por más de treinta (30) minutos, el hormigón lanzado deberá ser hasta quedar una lámina fina. La superficie de hormigón lanzado, encima o enfrente al hormigón fresco, deberá ser totalmente limpio, tornándose luego áspero y humedecido por una leve aspersion de agua, antes de la nueva aplicación.

Todo el material mezclado debe ser lanzado en un plazo inferior al tiempo de inicio de fraguado de mezcla, estimado en máximo de una (1) hora. Desde que sea comprobado experimentalmente, se podrá adoptar otro intervalo de tiempo de lanzamiento de mezcla.

2.5.2.2 Protección con mallas de acero

Definición

La protección con mallas de acero de alta resistencia es un tratamiento superficial resistente, el procedimiento consiste en cubrir el talud con una malla, debidamente fijada al terreno. La malla no permite que los pequeños derrumbes o caídos, invadan la superficie de rodamiento de la vía terrestre. Los derrumbes o caídos son conducidos por detrás de la malla para que no puedan llegar a caer al trazado de la vía.

Por su naturaleza, permite un rápido drenaje del agua que satura el terreno y ayuda a la reforestación más fácilmente. Es un hecho que el aspecto de los taludes debe ser lo más

natural e integrado posible con el medio circundante. De esta forma las mallas de acero de alta resistencia establecen un efectivo y económico sistema de protección del suelo en taludes contra la erosión.

Es necesario proteger los taludes de carretera con malla metálica de triple torsión porque se tratan de mallas de alta resistencia y ofrecen seguridad al usuario para evitar el desprendimiento de material suelto en el talud y de una gran cantidad de derrumbes, que además son un peligro continuo para los vehículos y evitando así que se obstruya las vías de comunicación ya que es uno de los problemas más graves que presentan las carreteras.

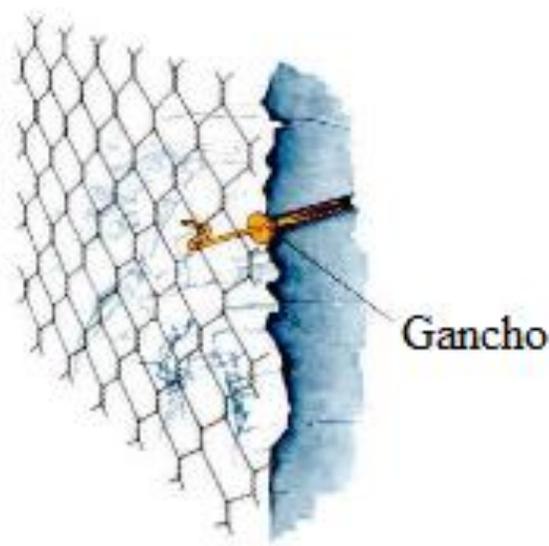
Usos generales de mallas de acero de alta resistencia

Son varias las aplicaciones con mallas de acero de alta resistencia, generalmente, es empleada para la fabricación de gaviones, colchones para revestimiento y entre otros para la estabilización de taludes de cortes y terraplenes de carreteras.

Las mallas de acero de alta resistencia por su facilidad de colocación, generalmente, el uso que se le da es para estabilizar taludes:

- a) Cuando existen rocas sueltas con tamaños menores de 0,6 – 1 m hay la posibilidad de reforzar la superficie del talud usando malla hexagonal anclada, sirve como refuerzo de la superficie.
- b) En el caso de rocas compactas, para poder prevenir que estas tengan rupturas, se puede usar la malla de triple torsión simplemente enganchada a la superficie (figura 2.11).
- c) En los casos de roca fracturada o en presencia de tierra y piedras sueltas, la red puede ser sujeta a través de barras de acero clavadas en el talud. En estas situaciones el revestimiento con red en malla hexagonal de triple torsión permite el rápido crecimiento de la vegetación. A través de las mallas pueden, inclusive crecer árboles, de tal manera que en poco tiempo el talud revestido tendrá la apariencia de una ladera natural.

Figura 2. 11 Estabilización usando ganchos en la malla.



Fuente: Folleto Maccaferri

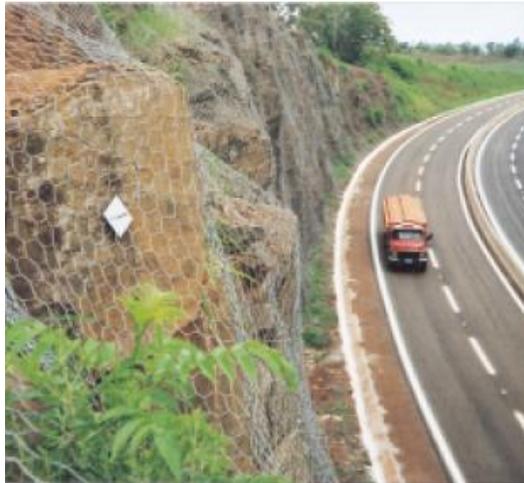
Características y ventajas

En las intervenciones para la sustentación de rocas es necesario el máximo nivel de seguridad, siendo que cualquier desprendimiento puede afectar seriamente bienes y personas. En estos casos se exigen materiales de alta resistencia y que al mismo tiempo sean flexibles, para que puedan acompañar y adherir a la superficie del talud. Estas son las características de las redes de alta resistencia que por ser de acero, tienen alta resistencia a la tracción y al punzonamiento.

Su configuración geométrica (hexagonal de triple torsión) impide, en caso de ruptura, que los alambres se deshilen y, por ser tejida (no soldada) acompaña fácilmente la conformación de la superficie del talud (fotografía 2.3).

Gracias a la triple torsión, es lo suficientemente fuerte para resistir el impacto de las rocas y aun cuando no exista traslape entre mallas, ésta trabaja de manera satisfactoria sin romperse.

Fotografía 2. 3 Protección con malla.

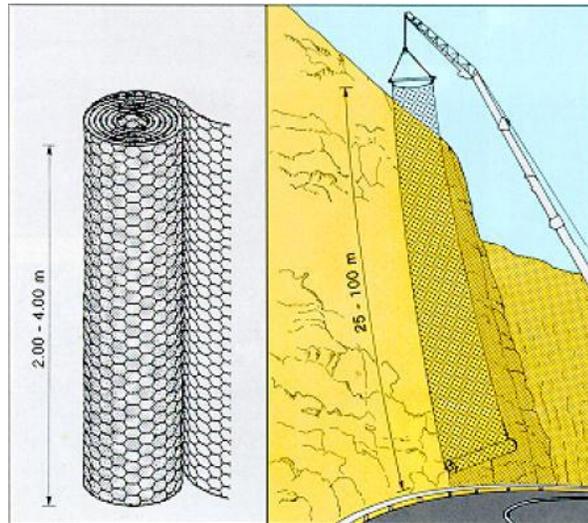


Fuente: Folleto Maccaferri

Los alambres de las redes de alta resistencia son revestidos con una aleación que proporciona una resistencia contra la corrosión, y para aplicaciones en ambientes agresivos o contaminados, se utiliza una protección adicional con revestimiento plástico que garantiza una larga vida útil, aún en condiciones extremadamente agresivas.

Muchas veces en los taludes y laderas se encuentran brotes de agua. Es importante por lo tanto, no crear barreras impermeables para evitar la acumulación de agua y la consiguiente desestabilización del macizo. Las mallas de acero de alta resistencia son extremadamente permeables y drenantes, no necesitando sistemas complementarios de drenaje y contribuyendo para el saneamiento y recubrimiento vegetal del talud.

Otra de las ventajas más sobresalientes de las mallas de acero de alta resistencia usadas para la estabilidad de taludes es el bajo costo de instalación, dependiendo del tamaño del rollo de malla (figura 2.12). Se puede decir también que actúa como revestimiento y favorece la recomposición ambiental.

Figura 2. 12 Instalación de mallas en caídos

Fuente: Folleto Maccaferri.

Es un sistema que otorga una protección inmediata al suelo. Por la sencillez en la colocación, solo necesita de mano de obra local sin preparación. Además por su gran resistencia y rapidez de manejo, es un sistema difícil de superar por otro método alternativo.

Fotografía 2. 4 Estabilización con mallas

Fuente: Folleto Maccaferri

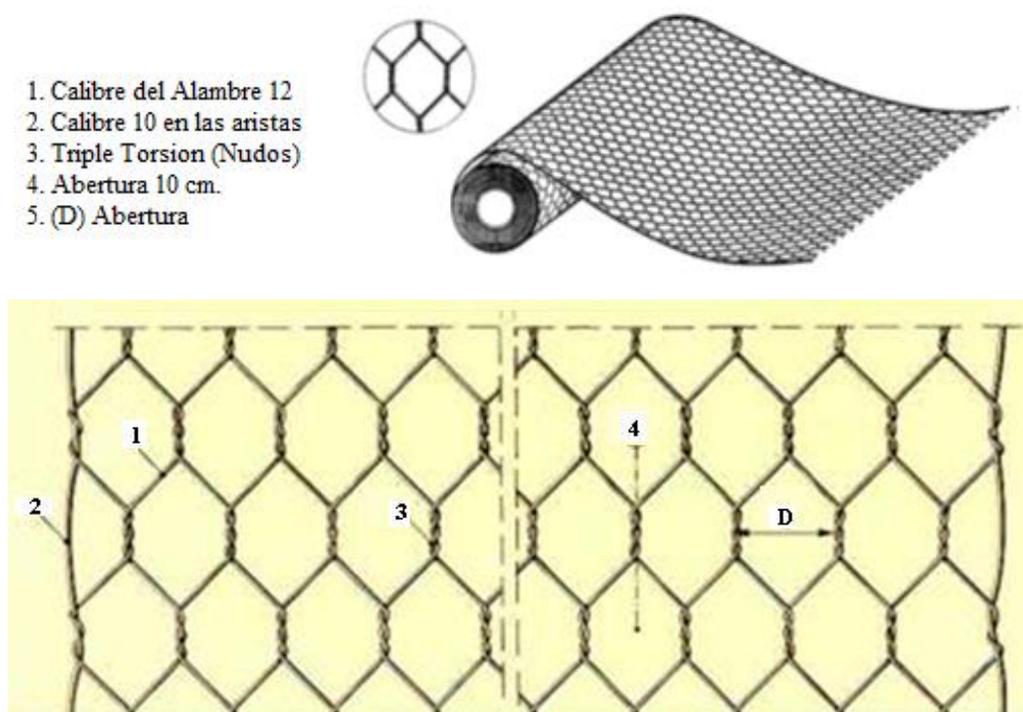
Especificaciones de malla metálica de triple torsión

La malla de acero de alta resistencia no se deshilvana, está hecha a base de girar continuamente pares de alambre para generar tres torsiones y dar forma a las aberturas hexagonales, las cuales después se interconectan a alambres adyacentes, dando origen a las aberturas hexagonales.

Todas las mallas son fabricadas con alambre galvanizado clase III, calibre de alambre 12, reforzado con calibre 10 en las aristas (triple galvanización) conforme con las normas para la resistencia mecánica (figura 2.13).

Para la fabricación de la malla se prevé un alambre cuyo calibre es de 12 con o sin el revestimiento en PVC, deberá ser en acero galvanizado de acuerdo con las normas.

Figura 2. 13 Malla de triple torsión



Fuente: Folleto presentación de estabilización Maccaferri.

Descripción de la malla

La malla hexagonal de triple torsión tiene aberturas tipo 8 x 10 cm o 6 x 8 cm., el diámetro de alambre de la malla está entre 2,2 y 3,4 mm dependiendo de la abertura de la malla, está fuertemente galvanizada y reforzada en las aristas. El alambre para amarre normalmente más utilizado para unir las mallas debe ser de 2,2 mm de diámetro.

Tabla 2. 9 Especificaciones de la malla para control de caídos

Malla hexagonal galvanizada o recubierta con PVC		
Especificaciones		
Escuadría	8 x 10 cm.	6 x 8 cm.
Tipo	Triple torsión	Triple torsión
Diámetro del alambre	2,7 y 3,4 mm.	2,2 y 2,7 mm.
Tolerancias	± 5% Ancho ± 3% Largo	± 5% Ancho ± 3% Largo

Fuente: Folleto especificación malla Maccaferri

Esquemas de aplicación y colocación

El modo de colocar las redes pueden ser varios y deben ser elegidos en función de la inclinación del talud, de su naturaleza geofísica, de las dimensiones de los materiales que normalmente pueden desprenderse y de la posibilidad de fijarse con anclas en las extremidades superiores e inferiores (fotografía 2.5).

Fotografía 2. 5 Colocación de anclas en T.

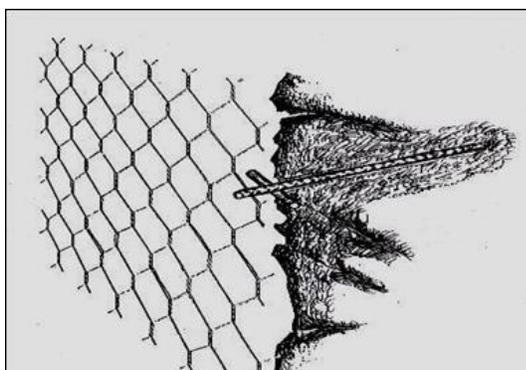


Fuente: Folleto protección contra caídos Maccaferri

Los tipos de anclaje y la separación entre los mismos depende del tipo de material del talud que se desea estabilizar, los desprendimientos, o si se encausan hacia la parte baja lo cual es preferible, dejando el anclaje adecuado en la parte inferior para poder remover la malla, sacando el desprendimiento acumulado y volver a fijar la malla. Es preferible fijar la malla en la parte inferior del talud con anclajes de barras de acero haciendo esto desmontable, para su mantenimiento.

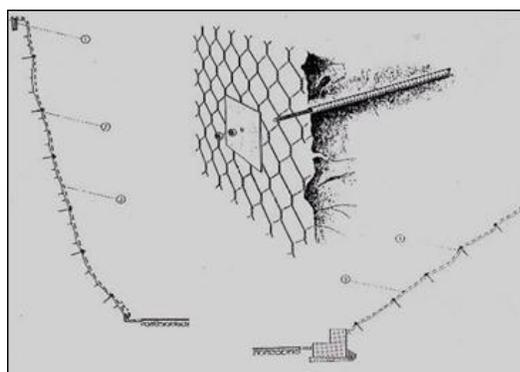
Hay varios tipos de anclaje que se usan para la parte superior del talud; los más usados para fijar las mallas de acero de alta resistencia son las varillas en forma de “T” o placas de acero colocadas a una profundidad de un metro y posteriormente ahogadas con mortero-cemento-arena.

Figura 2. 14 Anclaje con varillas en forma de “T “



Fuente: Folleto Maccaferri

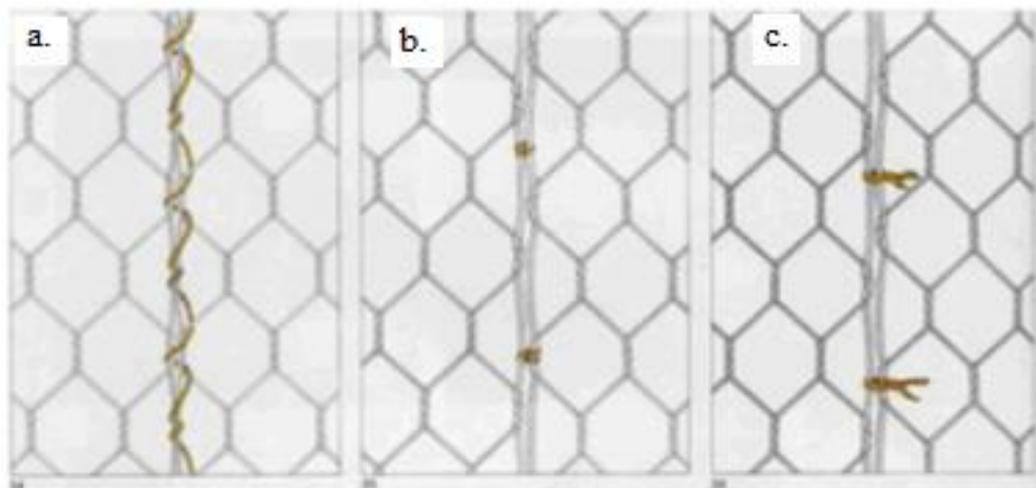
Figura 2. 15 Anclaje con placa de acero



Fuente: Folleto Maccaferri

Los tipos de amarres que se hacen para unir los rollos de malla unas entre otras deben ser bien asegurados y amarrados continuamente entre sí usando alambre de amarre.

Figura 2. 16 Tipos de amarre



Fuente: Folleto presentación de estabilización Maccaferri

Amarre continuo (espiral).

Amarre mecánico.

Amarre de moño.

2.5.2.3 Vegetación

Efecto de la vegetación sobre el talud

El tipo de vegetación tanto en el talud como en el área arriba del talud es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple dos funciones principales: en primer lugar, tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y además da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.

Como controlador de infiltraciones tiene efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo al tomar el agua que requiere para vivir.

Factores más importantes

Intercepta la lluvia.

Aumenta la capacidad de infiltración.

Extrae la humedad del suelo.

Grietas por desecación.

Raíces refuerzan el suelo, aumentando resistencia al cortante.

Ancla el suelo superficial a mantos más profundos.

Aumentan el peso sobre el talud.

Transmiten al suelo fuerza del viento.

Retienen las partículas del suelo, disminuyendo susceptibilidad a la erosión.

La deforestación puede afectar la estabilidad de un talud de varias formas:

Disminuyen las tensiones capilares de la humedad superficial.

Se elimina el factor de refuerzo de las raíces.

Se facilita la infiltración masiva de agua.

Acción de refuerzo de las raíces

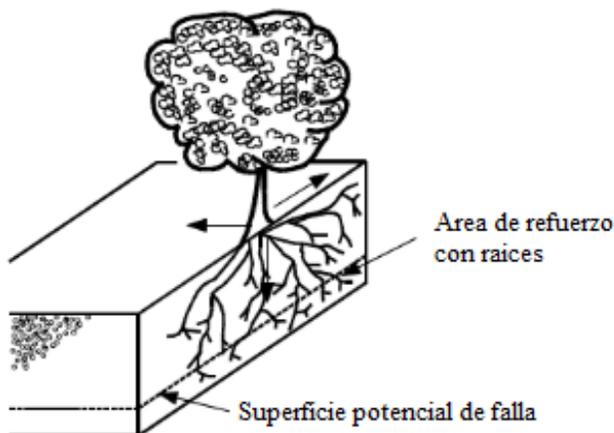
Las raíces refuerzan la estructura del suelo y pueden actuar como anclajes en las discontinuidades. Sidle (1985) explica el efecto de las raíces sobre la resistencia del suelo en tres formas:

Unir materiales de los suelos inestables a mantos más estables. Este efecto es más pronunciado donde la superficie crítica de falla se encuentra en la zona de raíces.

Formar una red densa entretejida en los primeros 30 a 50 centímetros de suelo, y esta red forma una membrana lateral que tiende a reforzar la masa de suelo más superficial y sostenerla en el sitio.

Las raíces individuales actúan como anclajes que estabilizan los arcos de suelo que se extienden a través del talud. Las raíces actúan como pilas de refuerzo.

Figura 2. 17 Refuerzo de superficie de falla por las raíces de los árboles.



Fuente: Suárez Díaz. 1998.

Una clasificación del refuerzo de taludes con las raíces de los árboles fue propuesta por Tsukamoto and Kusakabe (1984).

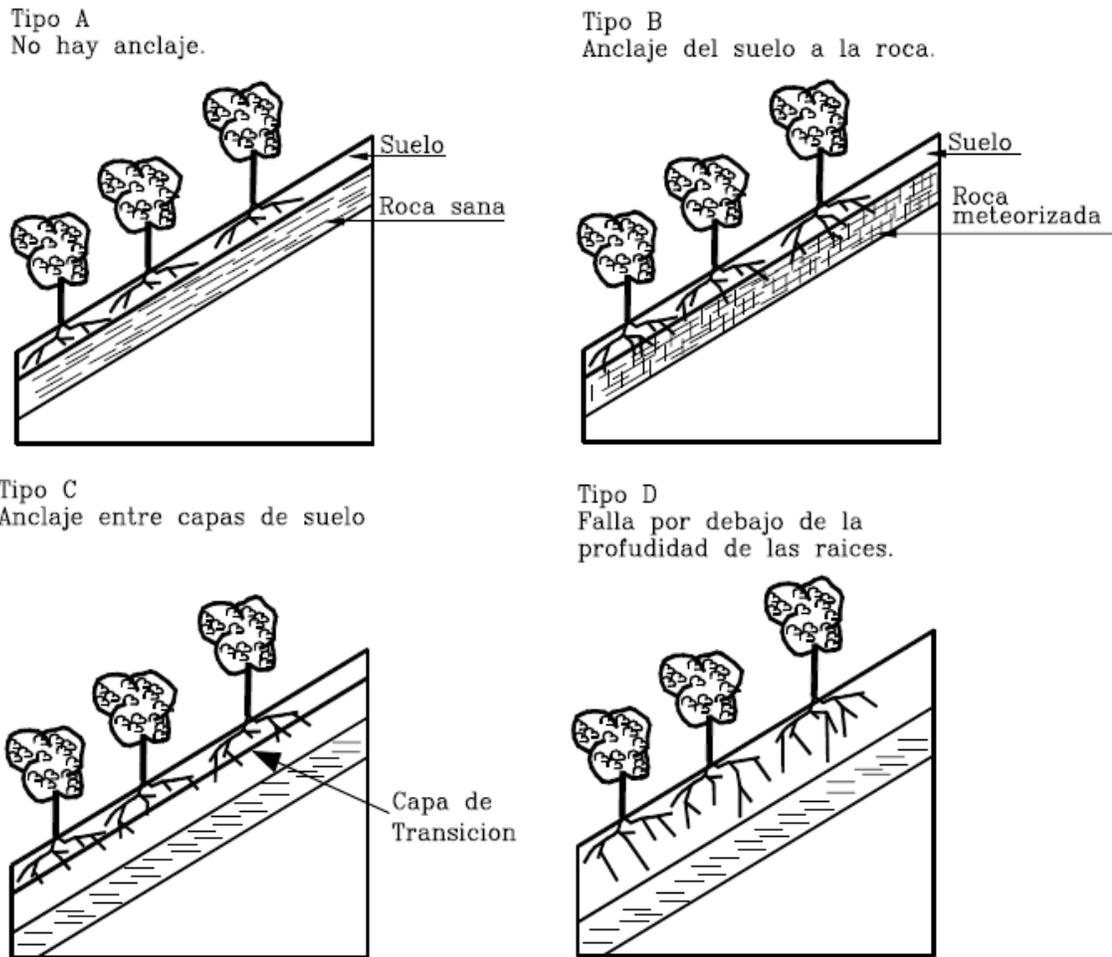
Tipo A: Taludes que poseen una capa muy delgada de suelo sobre roca masiva y sin defectos que permitan puntos de anclaje para las raíces y una superficie de falla potencial entre el suelo y la roca.

Tipo B: Una capa delgada de suelo sobre una roca con fracturas o defectos que permiten la entrada y anclaje de las raíces.

Tipo C: Varias capas de suelo y las raíces penetran normalmente las interfaces reforzando los contactos entre las diversas capas.

Tipo D: Taludes con una capa gruesa de suelo y raíces a profundidades superiores a las de las superficies potenciales de falla.

Figura 2. 18 Tipos de anclaje de la superficie de falla por acción de las raíces.



Fuente: Suárez Díaz. 1998.

La profundidad de las raíces es un factor muy importante. La profundidad de refuerzo de las raíces de los pastos es de solo 20 centímetros comúnmente, pero algunas especies tienen profundidades que permiten el anclaje a mantos de roca relativamente profundos.

Limitaciones de la protección vegetal

El establecimiento exitoso de vegetación en un talud está determinado por muchos factores tales como: época de siembra, pendiente del talud, localización, y composición de los materiales del talud. Las épocas ideales de plantación son las semanas anteriores a

la temporada de lluvias, sin embargo, se puede realizar el plantado en épocas secas disponiendo de un programa adecuado de riego.

La pendiente de los taludes tiene un efecto importante en el esfuerzo requerido para establecer la cobertura vegetal. Para taludes de pendiente alta se requiere colocar elementos de anclaje para los pastos y bermas para los árboles. En taludes de pendiente fuerte se aconseja no sembrar árboles, sino arbustos para disminuir las fuerzas del viento sobre ellos.

Si los materiales son muy duros se puede requerir la excavación de cajas profundas para la siembra de cada arbusto y deben utilizarse cantidades importantes de suelo orgánico o fertilizantes.

Con referencia a la localización del talud, los taludes que reciben la exposición directa del sol de la tarde presentan mayores dificultades para la vegetación, que los que reciben el sol de la mañana o poseen condiciones de sombra relativa.

Deben analizarse, además, los factores relacionados con la presencia del hombre como pisoteo, quemas, basuras, humo de los vehículos, etc.

Selección de especies vegetales

Como no existen especies universales se debe acudir a los expertos forestales para escoger la especie de pasto, hierba, arbusto o árbol que se debe utilizar para cada caso específico, teniendo muy en cuenta la experiencia local y las diferencias de tolerancias y hábitos de las diferentes especies.

El tipo de vegetación que cubre la superficie del talud tiene efecto sobre la estabilidad, por ejemplo, Campbell (1975) reportó que los deslizamientos de suelo eran 3 a 5 veces más frecuentes en aquellos taludes cubiertos por pastos que en aquellos cubiertos por

maleza y arbustos. Los deslizamientos en taludes cubiertos por pasto eran más cortos y más anchos y ocurren a ángulos de inclinación menores que aquellos cubiertos por maleza.

La especie vegetal debe seleccionarse que sea compatible con las condiciones del suelo y el sitio, incluyendo disponibilidad de agua, nutrientes, PH, clima, regulaciones gubernamentales, etc.

Ciertos tipos de planta son intrínsecamente mejores que otras para objetivos de estabilización específicos. La vegetación maderable posee raíces más profundas y más resistentes que las plantas herbáceas y pastos, y provee un mejor refuerzo y efecto de arco.

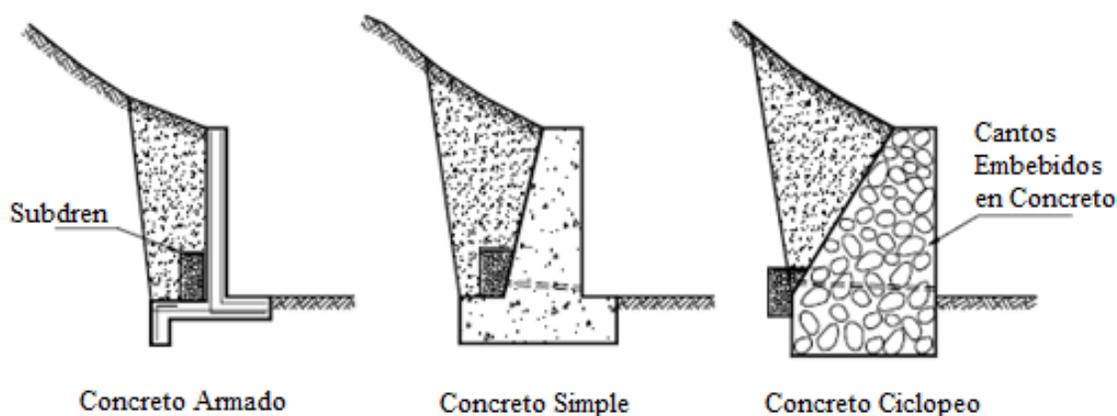
Tabla 2. 10 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de planta

Tipo	Ventajas	Desventajas
Pastos	Versátiles y baratos; variedades para escoger con diferentes tolerancias; fácil de establecer; buena densidad de cobertura.	Raíces poco profundas y se requiere mantenimiento permanente.
Juncos	Crecen rápidamente y son fáciles de establecer en las riberas de ríos.	Difíciles de obtener y el sistema de plantación no es sencillo.
Hierbas	Raíz relativamente profunda.	Algunas veces son difíciles de establecer y no se consiguen raíces.
Arbustos	Variedades para escoger. Existen especies que se reproducen por estaca. Raíz profunda, buena cobertura, bajo mantenimiento.	Algunas veces son difíciles de establecer.
Árboles	Raíces profundas, no requieren mantenimiento.	Es demorado su establecimiento y generalmente son más costosos.

Fuente: Suárez Díaz. 1998.

2.5.2.4 Muros masivos rígidos

Son estructuras rígidas, generalmente de concreto, las cuales no permiten deformaciones importantes sin romperse. Se apoyan sobre suelos competentes para transmitir fuerzas de su cimentación al cuerpo del muro y de esta forma generar fuerzas de contención.

Figura 2. 19 Esquema de muros rígidos

Fuente: Suárez Díaz. 1998.

Tabla 2. 11 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muro rígido.

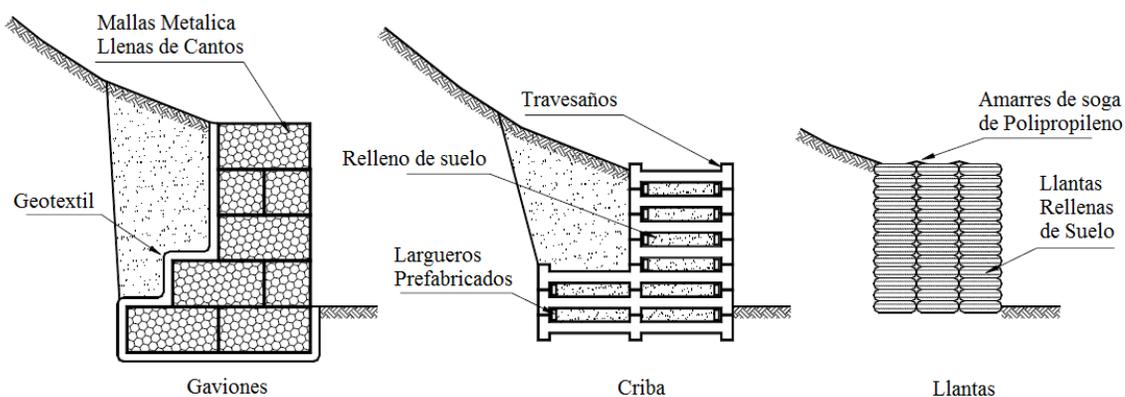
Muro	Ventajas	Desventajas
Reforzado	Los muros de concreto armado pueden emplearse en alturas grandes (superiores a diez metros), previo su diseño estructural y estabilidad. Se utilizan métodos convencionales de construcción, en los cuales la mayoría de los maestros de construcción tienen experiencia.	Requieren de buen piso de cimentación. Son antieconómicos en alturas muy grandes y requieren de formaletas especiales. Su poco peso los hace inefectivos en muchos casos de estabilización de deslizamientos de masas grandes de suelo.
Concreto simple	Relativamente simples de construir y mantener, pueden construirse en curvas y en diferentes formas para propósitos arquitectónicos y pueden colocarse enchapes para su apariencia exterior.	Se requiere una muy buena fundación y no permite deformaciones importantes, se necesitan cantidades grandes de concreto y un tiempo de curado, antes de que puedan trabajar efectivamente. Generalmente son antieconómicos para alturas de más de tres metros.
Concreto ciclópeo	Similares a los de concreto simple. Utilizan bloques o cantos de roca como material embebido, disminuyendo los volúmenes de concreto.	El concreto ciclópeo (cantos de roca y concreto) no puede soportar esfuerzos de flexión grandes.

Fuente: Suárez Díaz. 1998.

2.5.2.5 Muros masivos flexibles

Son estructuras masivas, flexibles. Se adaptan a los movimientos. Su efectividad depende de su peso y de la capacidad de soportar deformaciones importantes sin que se rompa su estructura.

Figura 2. 20 Esquema de muros flexibles



Fuente: Suárez Díaz. 1998.

Tabla 2. 12 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muro flexible

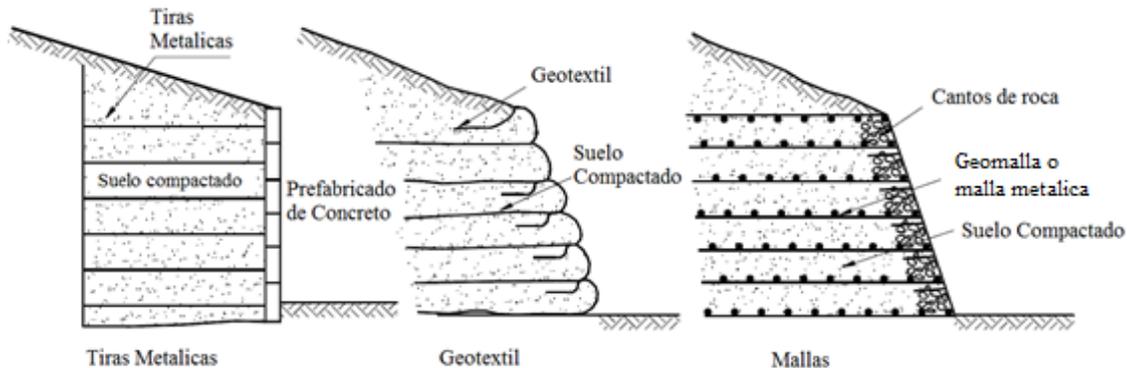
Muro	Ventajas	Desventajas
Gaviones	Fácil alivio de presiones de agua. Soportan movimientos sin pérdida de eficiencia. Es de construcción sencilla y económica.	Las mallas de acero galvanizado se corroen fácilmente en ambientes ácidos, por ejemplo, en suelos residuales de granitos se requiere cantos o bloques de roca, los cuales no necesariamente están disponibles en todos los sitios. Al amarre de la malla y las unidades generalmente no se le hace un buen control de calidad.
Criba	Simple de construir y mantener. Utiliza el suelo en la mayor parte de su volumen. Utiliza elementos prefabricados los cuales permiten un mejor control de calidad.	Se requiere material granular, autodrenante. Puede ser costoso cuando se construye un solo muro por la necesidad de prefabricar los elementos de concreto armado. Generalmente no funciona en alturas superiores a siete metros.
Llantas Neusol	Son fáciles de construir y ayudan en el reciclaje de los elementos utilizados.	No existen procedimientos confiables de diseño y su vida útil no es conocida.
Piedra-Petraplen	Son fáciles de construir y económicos cuando hay piedra disponible.	Requieren de la utilización de bloques o cantos de tamaño relativamente grande.

Fuente: Suárez Díaz. 1998.

2.5.2.6 Tierra reforzada

Las estructuras de tierra reforzada son terraplenes donde el suelo es su principal componente; y dentro de este, en el proceso de compactación, se colocan elementos de refuerzo para aumentar su resistencia a la tensión y al cortante. Internamente deben su resistencia principalmente, al refuerzo y externamente actúan como estructuras masivas por gravedad. Son fáciles de construir, utilizan el suelo como su principal componente, pueden adaptarse fácilmente a la topografía, permite construirse sobre fundaciones débiles, tolera asentamientos diferenciales y puede demolerse o repararse fácilmente.

Figura 2. 21 Esquema de estructuras de tierra reforzada



Fuente: Suárez Díaz. 1998.

Tabla 2. 13 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de tierra reforzada.

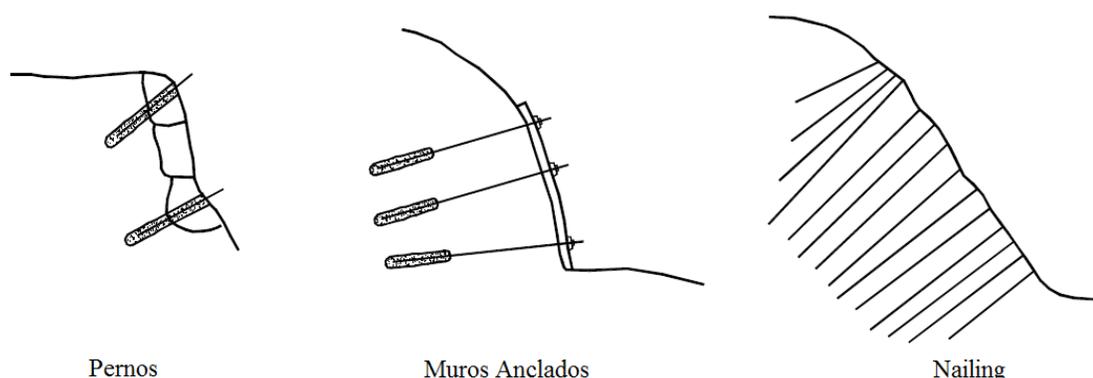
Tipo	Ventajas	Desventajas
Refuerzo con tiras metálicas	Los refuerzos metálicos le dan rigidez al terraplén y los prefabricados de concreto en su cara de fachada los hace presentables y decorativos. Existen empresas especializadas dedicadas a su construcción.	Las zonas de refuerzo requieren protección especial contra la corrosión. Se requieren características especiales en el relleno utilizado con los elementos de refuerzo. Algunos tipos de muro de tierra armada están cubiertos por patentes.
Refuerzo con geotextil	Son generalmente muy económicos y fáciles de construir.	Son muy flexibles y se deforman fácilmente. Las capas de geotextil se pueden convertir en superficies de debilidad para deslizamientos. El geotextil se descompone con la luz solar.
Refuerzo con malla	La malla le da cierta rigidez al terraplén y las capas no constituyen superficies de debilidad. El efecto de anclaje es mejor.	Dependiendo del material constitutivo la malla puede descomponerse o corroerse.

Fuente: Suárez Díaz. 1998.

2.5.2.7 Estructuras ancladas

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

Figura 2. 22 Esquema de estructuras ancladas.



Fuente: Suárez Díaz. 1998.

Tabla 2. 14 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de estructura anclada.

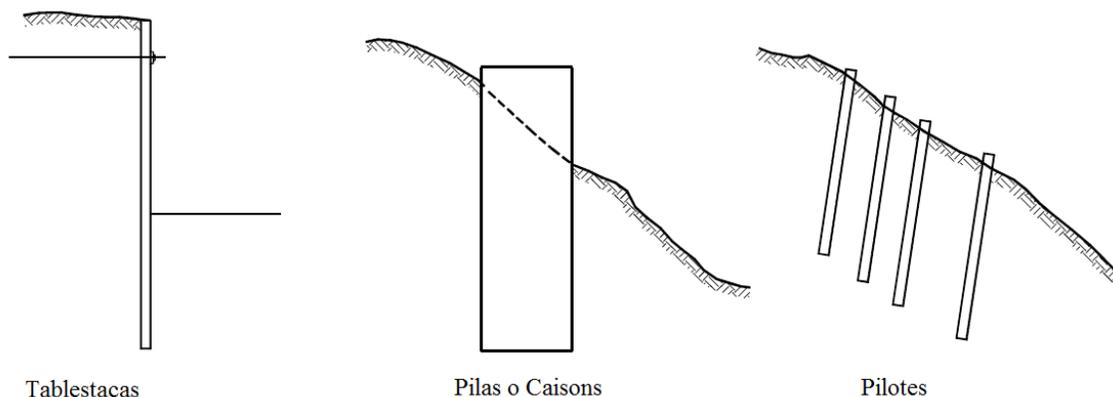
Estructura	Ventajas	Desventajas
Anclajes y pernos individuales	Permiten la estabilización de bloques individuales o puntos específicos dentro de un macizo de roca.	Pueden sufrir corrosión.
Muros anclados	Se pueden construir en forma progresiva de arriba hacia abajo, a medida que se avanza con el proceso de excavación. Permiten excavar junto a edificios o estructuras. Permiten alturas considerables.	Los elementos de refuerzo pueden sufrir corrosión en ambientes ácidos. Se puede requerir un mantenimiento permanente (tensionamiento). Con frecuencia se roban las tuercas y elementos de anclaje. Para su construcción se puede requerir el permiso del vecino. Su construcción es muy costosa.
Nailing o pilotillos tipo raíz (rootpiles)	Muy eficientes como elemento de refuerzo en materiales fracturados o sueltos.	Generalmente se requiere una cantidad grande de pilotillos para estabilizar un talud específico lo cual los hace costosos.

Fuente: Suárez Díaz. 1998.

2.5.2.8 Estructuras enterradas

Son estructuras esbeltas, las cuales generalmente trabajan empotradas en su punta inferior. Internamente están sometidas a esfuerzos de flexión y cortante.

Figura 2. 23 Esquema de estructuras enterradas



Fuente: Suárez Díaz. 1998.

Tabla 2. 15 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de estructura enterrada.

Tipo	Ventajas	Desventajas
Tablestaca	Su construcción es rápida y no requiere cortes previos. Son de fácil construcción junto a los cuerpos de agua o ríos.	No se pueden construir en sitios con presencia de roca o cantos. Su construcción es muy costosa.
Pilotes	Se pueden construir rápidamente.	Se puede requerir un número grande de pilotes para estabilizar un deslizamiento.
Pilas o caissons	No se requiere cortar el talud antes de construirlo. Se utilizan sistemas convencionales de construcción. Pueden construirse en sitios de difícil acceso. Varios caissons pueden ser construidos simultáneamente.	Se requieren profundizar muy por debajo del pie de la excavación. Su costo generalmente es elevado. La excavación puede requerir control del nivel freático. Debe tenerse especial cuidado en las excavaciones para evitar accidentes.

Fuente: Suárez Díaz. 1998.

2.5.2.9 Impermeabilización de bermas

En el trabajo de campo efectuado se constató que las bermas de ciertos taludes podrían favorecer la infiltración, generando así inestabilidad.

Si bien, en algunos casos se han construido canales de hormigón armado en las bermas, es importante considerar que se trata de drenar toda la superficie expuesta de las bermas. Además, el hormigón armado es muy rígido para ese tipo de formaciones geológicas, con rocas muy blandas.

Concepto de suelo cemento

Se denomina suelo cemento a la mezcla correctamente dosificada y compactada de suelo, cemento y agua.

El recubrimiento en suelo cemento puede mejorar las condiciones de permeabilidad de un talud haciéndolo relativamente impermeable y, en esta forma disminuyendo la infiltración.

El suelo debe estar libre de materia orgánica y raíces. Es importante señalar que si la relación agua-cemento es muy alta se produce agrietamiento severo del recubrimiento, de allí la importancia de estudiar la mezcla y verificar los resultados.

Tabla 2. 16 Características del suelo para mezcla de suelo cemento

Tipos de suelo	Características
Grava y arena	Tienen fricción interna elevada, mas carecen de cohesión y plasticidad. No se retraen al secarse y tienen rápida compactación
Limo	Posee dificultad de compactación y es susceptible de variar su volumen con el agua.
Arcilla	Tiene gran capacidad de absorción, aumentando su volumen, al secarse provoca grietas debido a la contracción. Impermeable y con alta

Fuente: Suárez Díaz. 1998.

Una vez planteadas estas particularidades, la bibliografía propone una composición del suelo con la cual se obtienen una resistencia elevada y la disminución de la contracción por secado.

Arcilla: 5 % - 10 %

Limo: 10 % - 20 %

Arena: 60 % - 80 %

Sin embargo, esta composición dependerá del estudio de las características físicas y químicas del suelo en la zona en que se aplicará como solución.

Hay que resaltar que, la principal función del cemento en la mezcla de suelo – cemento consiste en proteger a la tierra de la variación de humedad y los cambios que esto conlleva. El cemento que se utiliza es el tipo portland y la bibliografía propone la siguiente dosificación de acuerdo al suelo con el que se elabore la mezcla.

Tabla 2. 17 Proporciones de cemento de acuerdo al tipo de suelo

Tipo de suelo	Porcentaje de cemento	
	Mínimo (%)	Máximo (%)
Arenoso	5,00	9,00
Limoso	8,00	12,50
Arcilloso (no recomendable)	12,50	15,00

Fuente: Suárez Díaz. 1998.

2.5.2.10 Geomantas para el control de erosión

Se entiende por erosión el proceso por el cual ocurre el desprendimiento, el transporte o la deposición de partículas de suelo (o sedimentos), que terminan causando grandes impactos ambientales, alcanzados los cursos de agua y taludes, provocando el erosionamiento.

Mientras tanto, la adopción de medidas efectivas de control preventivo y correctivo de estas erosiones desordenadas depende del entendimiento correcto de los procesos relacionados a la dinámica del funcionamiento hídrico sobre el terreno. Esos procesos

erosivos son causados de forma natural, sea por la acción del agua de las lluvias, la corriente o incluso el efecto de las olas.

Amenazas graduales.- No solo se debe considerar que un suelo inestable se erosiona solo por las tensiones de arrastre que se generan en canales y cursos de agua, sino que también se debe considerar la humedad ocasional, viento, lluvia e incluso la gravedad que ayudan en este proceso erosivo, y en los casos donde hay una pérdida significativa de la vegetación, las condiciones serias pueden intensificarse, como la pérdida de hábitat natural de la fauna y la flora.

Geosintéticos utilizados para prevención y control de erosiones superficiales.- Los geosintéticos utilizados para prevención y control de erosiones superficiales han experimentado un avance significativo desde la década de 1990, buscando proporcionar una protección adecuada de los suelos, aunque las condiciones locales (declividad, características geotécnicas, índice pluviométrico, uso y ocupación del terreno, etc.) se muestren adversas y potencialmente desencadenadoras de procesos erosivos. Básicamente, los geosintéticos deben actuar reteniendo los finos provenientes de los suelos subyacentes o materiales erosionables transportados, además de tener la función de resistir a las velocidades de esparcimiento y a los esfuerzos tangenciales provocados por el flujo de las aguas, y absorber la energía del impacto de las gotas de lluvia. Actualmente, la gama de geosintéticos para prevención y control de erosión superficiales es muy vasta y, a cada día, nuevas soluciones son desarrolladas. Cabe esclarecer que cualquier tipo de soluciones, con la finalidad de prevención y control de erosión constituida por materiales sintéticos, deben ser instaladas sobre taludes geotécnicamente estables.

Según Theisen (1990), los geosintéticos para prevención y control de erosión son clasificados como temporarios (TERM's, temporary erosion and vegetation materials), elementos parciales o totalmente degradables, con características de prevención y control de la erosión del sitio protegido hasta que la cobertura vegetal esté establecida. Además, deben promover la germinación de las semillas para el rápido desarrollo de la vegetación. Teóricamente, los TERM's son subdivididos en dos grupos: los ECMN's (erosion control

meshes and nets), constituidos por geogretas o georedes orientadas biaxialmente, y los ECB's (erosion control blankets), constituidos por mantas de fibras vegetales biodegradables.

Un segundo grupo de geosintéticos con la misma función es nombrado permanente PERM's, (permanent erosion and revegetation materials), elementos poliméricos no degradables, con buena resistencia a la tracción y que actúan no solo como refuerzo de las raíces de la vegetación, pero auxilian su crecimiento. Los PERM's, a su vez, están subdivididos en dos categorías distintas: geosintéticos asociados a la vegetación, los TRM's (turf reinforcement mats), que son mantas de matriz tridimensional a base de fibras poliméricas utilizadas para reforzar la vegetación ya desarrollada contra la acción de la velocidad del agua y contra los esfuerzos de tracción arriba de lo máximo suportado por ella, además de ayudarla a crecer. A ese contexto se aplican las geomantas MacMat® (Figura 2.24), geomantas flexibles tridimensionales que presentan más de 90% de vacíos, fabricadas a partir de filamentos gruesos de polipropileno fundidos en los puntos de contacto. Conforme el concepto anterior están las ECRM's (erosion control and revegetation mats), mantas con las mismas características del material arriba citado, pero con adición de suelo para acelerar el desarrollo de la vegetación. La segunda categoría de los PERM's son los materiales biológicamente activos asociados a elementos inertes como madera, gabiones, concreto, rocas o geocélulas.

Figura 2. 24 Geomantas MacMat®



Fuente: Folleto protección contra erosión Maccaferri

2.6 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

La modelación matemática de los taludes es parte de la práctica de la ingeniería geotécnica, con el objeto de analizar las condiciones de estabilidad de los taludes naturales y la seguridad y funcionalidad del diseño en los taludes artificiales.

Existe una gran cantidad de metodologías para la modelación matemática, la cual depende del objetivo del análisis y de los resultados que se deseen obtener.

2.6.1 Método Janbú

El método de Janbú simplificado se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son horizontales y no tienen en cuenta las fuerzas de cortante. También considera que las superficies de falla no necesariamente son circulares y establece un factor de corrección f_0 que depende de la curvatura de la falla.

2.6.1.1 Formulación del método de Janbú

$$FS = \frac{f_0 * (c * B + (W - u * B) * \frac{\tan \phi}{\cos \alpha * (\cos \alpha * (1 + \frac{\tan \alpha * \tan \phi}{FS}))}}{W * \tan \alpha}$$

Donde:

f_0 = Factor de corrección.

ϕ = Ángulo de fricción interna más desfavorable.

C = Cohesión del suelo promedio.

H_w = Altura del nivel freático.

u = Presión de poro.

λ = Peso específico del suelo.

W = Peso dovela más grande

B = Ancho de la dovela.

α = Ángulo de la base de la dovela con respecto a la horizontal.

6.2.2 Método Fellenius

El método ordinario de Fellenius es conocido también como método ordinario, método sueco, método de las dovelas o método U.S.B.R. Este método asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de los momentos con respecto al centro del círculo (producidos por estas fuerzas) se obtiene el factor de seguridad.

Las fuerzas que actúan sobre una dovela son:

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

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

Las fuerzas de presión de tierra y cortante en las paredes entre dovelas, no son consideradas por Fellenius.

2.6.2.1 Formulación del método de Fellenius

Al realizar la sumatoria de momentos con respecto al centro del círculo, se obtiene la siguiente expresión:

$$FS = \frac{\sum [C' \cdot \Delta l + (W \cdot \cos \alpha - u \cdot \Delta l \cdot \cos 2\alpha) \cdot \tan \alpha]}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

Donde:

FS = Factor de seguridad.

α = Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada dovela.

W = Peso total de cada dovela.

u = Presión de poros.

Δl = Longitud del arco de círculo en la base de la dovela.

C' = Cohesión.

Φ' = Ángulo de fricción interna.

6.2.3 Método Morgenstern-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, o puede considerarse otro tipo de función. La posibilidad de suponer una determinada función para determinar los valores de fuerzas entre dovelas, lo hace un método más riguroso que el de Spencer.

Sin embargo, esta suposición de funciones diferentes tiene muy poco efecto sobre el cálculo de factor de seguridad cuando se satisface el equilibrio estático y hay muy poca diferencia entre los resultados del método de Spencer y el de Morgenstern y Price.

El método de Morgenstern y Price, al igual que el de Spencer, es un método muy preciso, prácticamente aplicable a todas las geometrías y perfiles de suelo.

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E$$

Donde:

X y E= Son las fuerzas verticales y horizontales entre rebanadas.

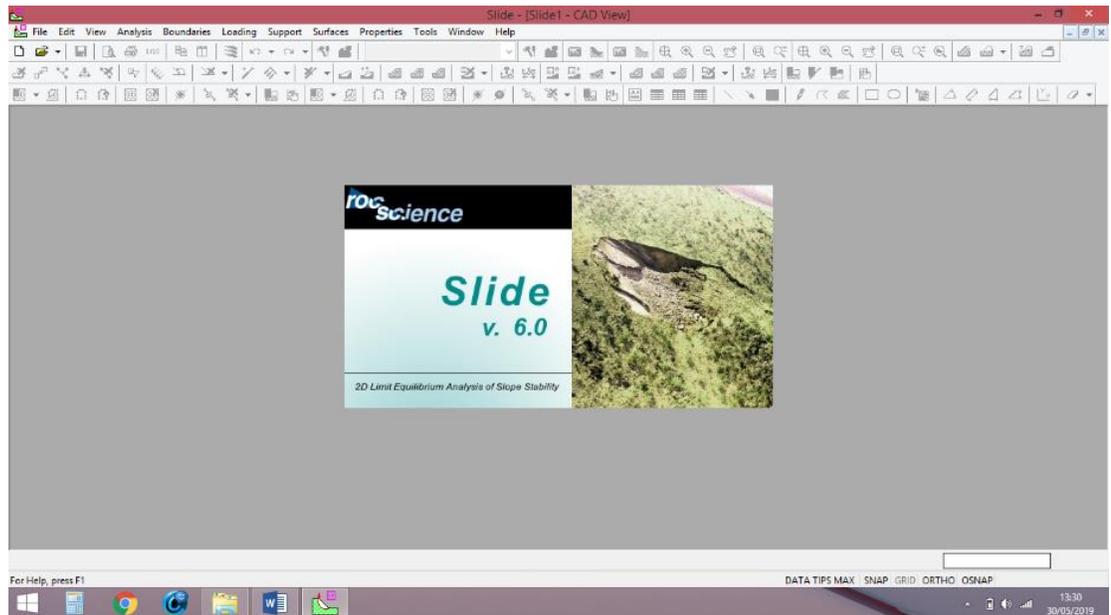
λ = Es un factor de escala desconocida que se es resuelto por parte de las incógnitas.

F(x) = Es una función que asume las fuerzas laterales.

6.2.4 Slide v6.0 (software)

Slide es un software de análisis de estabilidad de taludes en 2D utilizado por la ABC, que utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad. 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.

Figura 2. 25 Inicio del programa Slide v6.0



Fuente: Elaboración propia

La mayoría de los análisis de estabilidad se realizan utilizando programas comerciales de “software”, los cuales permiten analizar taludes complejos o con cantidad significativa de información, de forma eficiente.

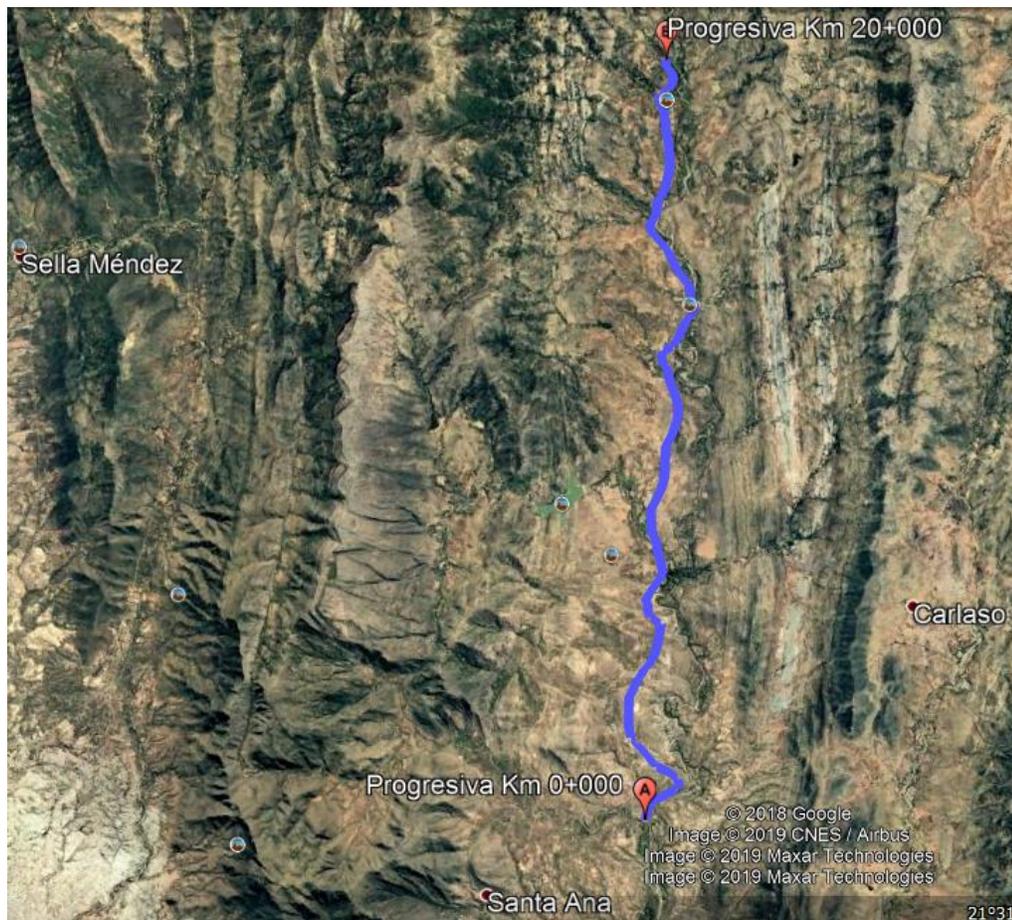
CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio está ubicada en la provincia Cercado del departamento de Tarija, al sur de Bolivia, ubicada a 20 km. de la capital del departamento, la carretera Santa Ana- Yesera Norte inicia en un cruce con la carretera Tarija-Villamontes ruta 11, el estudio se realizó desde la progresiva 0+000 a 20+000 y cuyas alturas oscilan entre los 1950 a 2300 m.s.n.m.

Figura 3. 1 Ubicación geográfica



Fuente: Google Earth Pro

Figura 3. 2 Mapa de ubicación de la zona de estudio



Fuente: Mapas cartográficos de provincias del departamento de Tarja.

3.2 GEOLOGÍA REGIONAL

La zona tiene una fisiografía subandina, constituida por un conjunto de paisajes dominados por serranías, colinas y valles estrechos. La geología de la zona es bastante variada, observándose materiales que van desde el cuaternario, ordovícico y silúrico, considerando a la zona de Yesera una llanura fluvio lacustre no consolidada. Entre las unidades de terreno existentes en la zona tenemos conglomerados, areniscas, limonitas y arcillitas. La zona tiene una vegetación característica, que va desde matorrales, arbustos hasta la vegetación herbácea graminoide baja. De manera global la zona se caracteriza por el uso extendido del ganado caprino y ovino además de añadirse la alteración del relieve producto de la construcción civil, se caracteriza principalmente por contener zonas con índices de inestabilidad geológica debido a las características de los materiales que constituyen los taludes.

3.3 METODOLOGÍA

La metodología empleada para desarrollar los objetivos planteados es la de un estudio cualitativo de campo, debido a que los datos e información necesaria serán obtenidos directamente del entorno real u objeto de estudio, sin manipular o controlar variable alguna.

La información y datos necesarios se obtuvieron mediante un estudio geotécnico en los taludes con problemas de mayor estabilidad en la carretera Santa Ana – Yesera Norte tramo progresiva 0+000 a 20+000, información cuya integridad no fue alterada ni modificada, cumpliendo así con la definición hecha por Sabino (1986), quien propone que “las investigaciones de campo se basan en datos primarios, obtenidos directamente de la realidad”.

Con esta información y datos se procedió la caracterización y agrupamiento de los taludes para así poder realizar el análisis de estabilización de taludes por los modelos de Janbú, Fellenius, Morgenstern-Price y determinar su grado de inestabilidad de acuerdo a su factor de seguridad mediante el software Slide v6.0.

Finalmente luego de realizado el análisis de estabilidad se realizará un estudio de alternativas de estabilización de taludes mediante un análisis de su viabilidad técnica, económica y de seguridad donde se propondrán las alternativas de estabilización que mejor se adecúen a cada talud con problema de inestabilidad.

3.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DE LOS TALUDES

La construcción de la carretera Santa Ana – Yesera Norte trajo consigo importantes movimientos de tierra, lo que genera taludes de diferentes inclinaciones para mantener la estabilidad de los mismos. Los taludes en el tramo de estudio presentan deslizamientos importantes, con frecuente acumulación de material al pie del talud (calzada y cunetas).

Por lo que es necesario tomar medidas de protección para contrarrestar estos efectos de manera que se puedan minimizar o hasta eliminar el problema, dando así mayor seguridad al tránsito de vehículos y disminuir el costo de mantenimiento de la carretera, asegurando así la vida útil de la misma.

Para realizar el presente estudio, es importante de inicio establecer las características de los materiales de los que están constituidos los taludes elegidos para esta investigación, elección que se realizó con el criterio de evaluar taludes de diferentes características, cuyos materiales constituyentes sean diferentes y que hipotéticamente puedan tener diferentes riesgos en cuanto a las amenazas de deslizamientos o desprendimientos de material, es así que se eligen los taludes N° 1 en la zona Santa Ana (fotografía 3.1), el talud N° 2 en la zona de Yesera Sud (fotografía 3.2), el talud N° 3 en la zona de Yesera Sud (fotografía 3.3), el talud N° 4 en la zona de Caldera-Yesera Sud (fotografía 3.4), el talud N° 5 en la zona de Colpana-Yesera Centro (fotografía 3.5), el talud N° 6 en la zona de Colpana-Yesera Centro (fotografía 3.6), el talud N° 7 en la zona de Yesera Centro (fotografía 3.7), el talud N° 8 en la zona de Yesera Centro (fotografía 3.8), el talud N° 9 en el pueblo de Yesera Centro (fotografía 3.9) y el talud N° 10 en la zona de Yesera Norte (fotografía 3.10).

Fotografía 3. 1 Talud N° 1



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. 2 Talud N° 2



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. 3 Talud N° 3



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. 4 Talud N° 4



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. 5 Talud N° 5



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. 6 Talud N° 6



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. 7 Talud N° 7



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. 8 Talud N° 8



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. 9 Talud N° 9



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. 10 Talud N° 10



Fuente: Elaboración propia

Con el propósito de que la investigación permita lograr los objetivos previstos se eligió taludes cuyos materiales constituyentes sean diferentes en su constitución, estratificación y comportamiento en la superficie del talud, mismos que presentan materiales granulares y finos que van desde un suelo A-1-a hasta un A-7 (según clasificación AASHTO) los taludes presentan suelos arenosos en su mayoría, clasificación que será expuesta más adelante.

3.5 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Una vez definida la ubicación de los taludes inestables en el tramo “Santa Ana – Yesera Norte” se procedió al estudio de suelos que está dividida en tres etapas:

Trabajo de campo.

Trabajo de laboratorio.

Trabajo de gabinete.

A continuación, se describe el trabajo que se realizó en campo, laboratorio y gabinete.

3.5.1 Trabajo de campo

Esta fase comprendió el reconocimiento de los taludes con mayor inestabilidad aparente con el fin de constatar el estado de los mismos, mediante observaciones, mediciones, toma de muestras para ensayos de laboratorio, etc., para así determinar el tipo de inestabilidad y los factores que influyen en esta, y posteriormente establecer las posibles soluciones.

Es importante para el desarrollo del proyecto de grado, entorno a la investigación y el estudio de alternativas técnicas para la estabilidad de taludes, la visita al tramo carretero Santa Ana – Yesera Norte, con el fin de constatar el estado de la misma, con énfasis en los taludes de mayor inestabilidad aparente, para mediante observaciones, mediciones, toma de muestras para ensayos de laboratorio, etc., determinar el tipo de inestabilidad y los factores que influyen en esta, y posteriormente establecer las posibles soluciones. A continuación, se describe el trabajo que se realizó en campo, laboratorio y gabinete.

3.5.1.1 Ubicación de los tramos de estudio

En primer lugar se procedió a ubicar las zonas de estudio en tramo carretero de acuerdo a sectores donde existan los taludes de mayor riesgo de inestabilidad, y de los diferentes tipos de suelos que los componen.

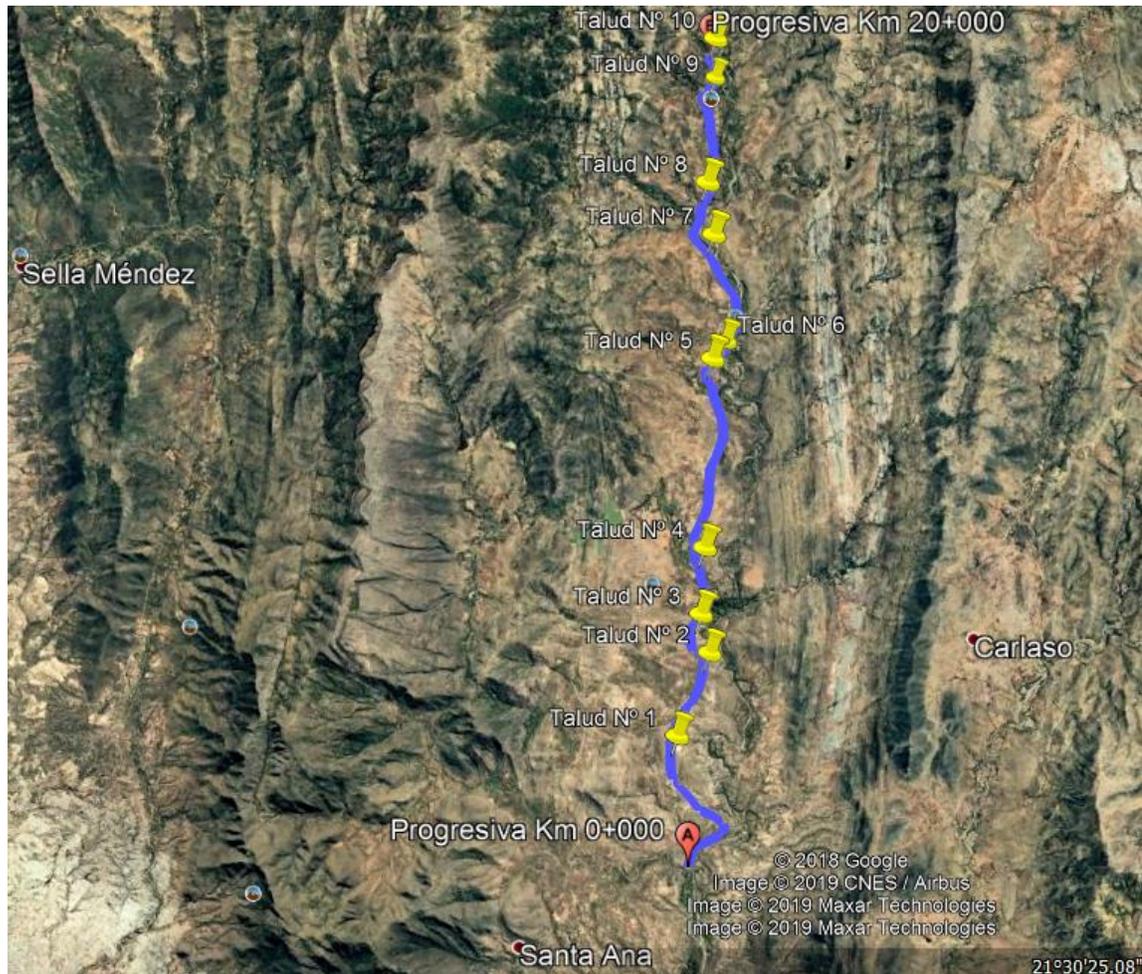
A continuación, se elabora una descripción de los lugares de interés, de acuerdo a la progresiva real de la vía.

Tabla 3. 1 Relevamiento tramo en estudio.

Progresiva km.		Punto interés	Observaciones
Inicio	Fin		
3+200	3+567	Talud 1	Talud de gran altura con desprendimiento de material granular.
5+300	5+490	Talud 2	Talud con caída de sedimentos.
5+820	6+023	Talud 3	Talud con grietas y caída de sedimentos.
7+880	8+132	Talud 4	Talud con desprendimiento de material granular y caída de sedimentos.
12+080	12+370	Talud 5	Talud de gran longitud con desprendimiento de material granular y caída de sedimentos.
12+860	13+065	Talud 6	Talud de gran altura con gran desprendimiento de material granular y presencia de humedad.
15+320	15+495	Talud 7	Talud con desprendimiento de material granular y caída de sedimentos.
16+480	16+707	Talud 8	Talud de gran longitud con gran desprendimiento de material granular.
18+960	19+344	Talud 9	Talud de gran longitud con gran desprendimiento de material granular y sedimento.
19+907	20+000	Talud 10	Talud de gran altura con caída de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 3 Relevamiento taludes estudiados



Fuente: Google Earth Pro

3.5.1.2 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se realizó en 10 taludes de mayor riesgo de inestabilidad relevados anteriormente de acuerdo a la progresiva real de la vía y sus coordenadas, luego se procedió a determinar los parámetros básicos de la geometría, como la altura vertical (h), la longitud horizontal (L) y la pendiente del plano del talud.

Para el levantamiento se necesitó el apoyo de un equipo topográfico estación total marca Leica modelo TS02 y un GPS.

Fotografía 3. 11 Estación total Sokkia set 5x, levantamiento topográfico talud N° 1



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. 12 Levantamiento topográfico talud N° 2



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. 13 Levantamiento topográfico talud N° 10



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 2 Levamiento topográfico

Punto Interés	Progresiva km		Longitud de proyección m		Pendiente			Coordenadas UTM		Área de corte m ²
	Inicio	Fin	Long.	Altura	V	H	°	Este	Norte	
Talud 1	3+200	3+567	367	16,565	1	0,290	74	336903	7621896	4646,69
Talud 2	5+300	5+490	190	7,324	1	0,400	68	337789	7623749	878,13
Talud 3	5+820	6+023	203	7,864	1	0,290	74	337633	7624175	1483,25
Talud 4	7+880	8+132	252	9,270	1	0,290	74	337922	7626022	1641,79
Talud 5	12+080	12+370	290	10,907	1	0,230	77	338498	7630010	3379,94
Talud 6	12+860	13+065	205	16,291	1	0,320	72	338907	7630537	2657,31
Talud 7	15+320	15+495	175	8,348	1	0,270	75	338706	7632688	1045,93
Talud 8	16+480	16+707	227	7,069	1	0,250	76	338783	7633710	1406,49
Talud 9	18+960	19+344	384	13,340	1	0,210	78	339166	7636175	3326,27
Talud 10	19+907	20+000	93	21,778	1	0,360	70	339292	7636780	1638,36

Fuente: Elaboración propia.

3.5.1.3 Recolección de muestras

Ya conociendo la topografía, para la caracterización de materiales en la fase de trabajo de campo, se procedió a realizar la recolección de las muestras representativas del material, se extrajo muestras del pie, cuerpo y cabeza de cada uno de los diez taludes objeto de estudio.

La toma de muestras se hizo de forma manual, con la ayuda de herramientas como pico de mano, pala, introduciendo luego el material en bolsas plásticas identificadas con la ubicación de su extracción.

Fotografía 3. 14 Recolección de muestras cabeza talud N° 1



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 3. 15 Recolección de muestras cuerpo talud N° 2



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 3. 16 Recolección de muestras pie talud N° 7



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 3. 17 Recolección de muestras pie talud N° 8



Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Trabajo de laboratorio

Para la caracterización de materiales de los diez taludes de estudio, las muestras obtenidas fueron analizadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S).

En esta fase, el trabajo está orientado a conocer la distribución granulométrica de las partículas sólidas que constituyen los suelos investigados, proporcionando un nivel de referencia que, juntamente con los otros trabajos de laboratorio, permitieron conocer las características, las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que conforman cada talud objeto a estudio.

Los ensayos realizados en laboratorio son los siguientes:

- Distribución granulométrica de los materiales constitutivos del suelo, mediante la vía del tamizado según ASTM D 422-63 (método del lavado).
- Establecimiento de los límites de consistencia o los límites de Atterberg:

Límite líquido según ASTM D 423-66.

Límite plástico según ASTM D 424-59.

Índice de plasticidad.

- Clasificación de los suelos, adoptando el sistema internacional AASHTO y el Sistema de Clasificación Unificado SUCS.
- Determinación del peso específico relativo ASTM D 854-58.
- Determinación del ángulo de fricción y de la cohesión mediante el ensayo de corte directo según ASTM D 3080-72.

Granulometría

Se llama granulometría o análisis granulométrico¹ a la determinación de la distribución de las partículas de un suelo en cuanto a su tamaño; se hace por proceso de tamizado (tamices) en suelos de grano grueso, y por un proceso de sedimentación en agua o por el método del lavado.

Fotografía 3. 18 Cuarteando la muestra



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. 19 Granulometría suelos granulares



Fuente: Elaboración propia

¹ Ver cálculos en Anexo A “Caracterización de los agregados”.

Límites de Atterberg

El **límite líquido (LL)**² de un suelo se define como el contenido máximo de humedad a partir del cual dicho suelo deja de comportarse plásticamente y pasa a comportarse como un líquido. Es el contenido de agua del material en el límite superior de su estado plástico.

Fotografía 3. 20 Copa de Casagrande con ranurador laminar



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. 21 Suelo no plástico talud N° 6



Fuente: Elaboración propia

² Ver cálculos en Anexo A “Caracterización de los agregados”.

El límite plástico (LP)³ de un suelo es el contenido de humedad correspondiente a un límite convencional entre los estados de consistencia plástico y semisólido. Es el contenido de agua del material, en el límite inferior de su estado plástico.

Fotografía 3. 22 Instrumental necesario para (LP)



Fuente: Elaboración propia

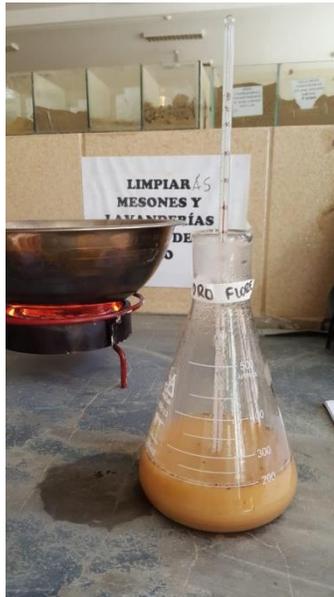
Peso específico relativo

El peso específico relativo⁴ de los sólidos es una propiedad índice que debe determinarse a todos los suelos, debido a que este valor interviene en la mayor parte de los cálculos relacionados con la mecánica de suelos, en forma relativa, con los diversos valores determinados en el laboratorio pueden clasificarse algunos materiales.

³ Ver cálculos en Anexo A "Caracterización de los agregados".

⁴ Ver cálculos en Anexo B "Peso específico relativo".

Fotografía 3. 23 Instrumental necesario para P.E. relativo



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. 24 Realizando práctica de P.E. relativo



Fuente: Elaboración propia

Ensayo de corte directo

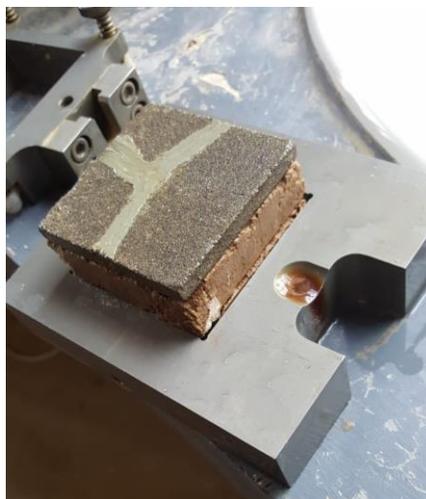
El **ensayo de corte directo**⁵ es método de prueba desarrollado para la determinación de la resistencia al corte de un suelo. Esta prueba es realizada mediante la deformación de un espécimen en un rango de deformación controlada. Generalmente se realizan un mínimo de 3 pruebas, cada una bajo una diferente carga normal para determinar el efecto sobre la resistencia y desplazamiento y las propiedades resistentes. De esta manera se determinan los parámetros de corte, ángulo de fricción interna (ϕ) y la cohesión (c) del suelo.

Fotografía 3. 25 Instrumental necesario para corte directo



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. 26 Muestra después del ensayo



Fuente: Elaboración propia

⁵ Ver cálculos en Anexo C “Corte directo”.

3.5.3 Trabajo de gabinete

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

También en el trabajo de gabinete, se elaboraron todas las tablas resumen, de la clasificación de los suelos, peso específico, cohesión y ángulo de fricción interna para posteriormente calcular con estos datos el factor de seguridad de cada talud en el programa Slide v6.0 por los métodos de Janbú, Fellenius, Morgenstern-Price.

3.5.3.1 Resultados de laboratorio

Mediante el estudio de suelos, realizado en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, se obtuvo las granulometrías, los límites de consistencia y por consiguiente la clasificación de suelos para los tres taludes. Este detalle se muestra en la parte de anexos.

Las muestras de los taludes en las partes de pie, mitad, y cabeza de acuerdo al estudio realizado, tienen la siguiente clasificación:

Tabla 3. 3 Clasificación de suelos

Talud N°	LL	LP	IP	Clasif. AASHTO	Clasificación SUCS		
					Símbolo	Descripción	
1	Pie	NP	NP	NP	A-1-a (0)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos.
	Cuerpo	NP	NP	NP	A-1-a (0)	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
	Cabeza	NP	NP	NP	A-1-a (0)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos.
2	Pie	34	31	3	A-4 (8)	ML	Limos inorgánicos, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
	Cuerpo	30	18	12	A-6 (4)	CL	Arcillas inorgánicas de mediana plasticidad, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
	Cabeza	NP	NP	NP	A-1-a (0)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos.

3	Pie	27	21	6	A-4 ⁽⁷⁾	ML-OL	Arcillas limosas, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
	Cuerpo	31	23	8	A-4 ⁽⁷⁾	CL	Arcillas inorgánicas de mediana plasticidad, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
	Cabeza	41	21	20	A-7-6 ⁽¹²⁾	CL	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas arenosas, arcillas limosas
4	Pie	56	31	25	A-7-5 ⁽¹⁷⁾	MH	Limos inorgánicos, arenas finas o limos micáceos o de diatomeas limos elásticos
	Cuerpo	38	20	18	A-6 ⁽¹⁰⁾	CL	Arcillas inorgánicas de media plasticidad, arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas.
	Cabeza	23	11	12	A-2-6 ⁽⁰⁾	GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla.
5	Pie	30	15	15	A-2-6 ⁽⁰⁾	GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla.
	Cuerpo	35	19	16	A-2-6 ⁽⁰⁾	GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla.
	Cabeza	36	20	16	A-6 ⁽⁹⁾	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
6	Pie	NP	NP	NP	A-1-a ⁽⁰⁾	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos.
	Cuerpo	NP	NP	NP	A-1-a ⁽⁰⁾	GW	Gravas bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos.
	Cabeza	NP	NP	NP	A-1-a ⁽⁰⁾	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
7	Pie	NP	NP	NP	A-1-b ⁽⁰⁾	GM	Gravas limosas, mezcla de grava arena y limo.
	Cuerpo	20	17	3	A-4 ⁽⁵⁾	ML	Limos inorgánicos, polvo de rocas, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
	Cabeza	NP	NP	NP	A-1-b ⁽⁰⁾	GM	Gravas limosas, mezcla de grava arena y limo.
8	Pie	NP	NP	NP	A-1-a ⁽⁰⁾	GP-GM	Grava mal gradadas, mezcla de grava arenas y pocos limos.
	Cuerpo	NP	NP	NP	A-1-a ⁽⁰⁾	GP-GM	Grava mal gradadas, mezcla de grava arenas y pocos limos.
	Cabeza	NP	NP	NP	A-1-a ⁽⁰⁾	GP-GM	Grava mal gradadas, mezcla de grava arenas y pocos limos.
9	Pie	NP	NP	NP	A-1-b ⁽⁰⁾	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.
	Cuerpo	NP	NP	NP	A-1-b ⁽⁰⁾	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.
	Cabeza	NP	NP	NP	A-1-b ⁽⁰⁾	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.
10	Pie	28	12	16	A-6 ⁽¹⁰⁾	CL	Arcillas inorgánicas de mediana plasticidad, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
	Cuerpo	29	14	15	A-6 ⁽¹⁰⁾	CL	Arcillas inorgánicas de mediana plasticidad, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
	Cabeza	22	16	6	A-4 ⁽⁸⁾	ML	Arcillas limosas, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 4 Cohesión, ángulo de fricción interna y peso específico

Talud N°		Cohesión (kg/cm ²)	Cohesión (KN/m ²)	Ángulo de fricción interna (°)	Peso específico (gr/cm ³)	Peso específico (KN/m ³)
1	Pie	0,021	2,069	34	2,638	25,869
	Cuerpo	0,009	0,883	31	2,638	25,869
	Cabeza	0,019	1,834	31	2,638	25,869
2	Pie	0,181	17,721	27	2,697	26,490
	Cuerpo	0,197	19,339	27	2,708	26,552
	Cabeza	0,003	0,304	35	2,629	25,778
3	Pie	0,152	14,945	26	2,644	25,929
	Cuerpo	0,234	22,908	26	2,665	26,132
	Cabeza	0,262	25,683	29	2,543	24,943
4	Pie	0,189	18,525	23	2,716	26,633
	Cuerpo	0,128	12,543	16	2,790	27,357
	Cabeza	0,072	7,080	44	2,589	25,393
5	Pie	0,016	1,549	30	2,680	26,284
	Cuerpo	0,009	0,843	38	2,654	26,022
	Cabeza	0,127	12,435	22	2,539	24,903
6	Pie	0,067	6,531	34	2,684	26,322
	Cuerpo	0,032	3,099	38	2,684	26,322
	Cabeza	0,002	0,226	34	2,684	26,322
7	Pie	0,051	4,972	31	2,638	25,869
	Cuerpo	0,128	12,543	21	2,524	24,754
	Cabeza	0,017	1,687	32	2,671	26,193
8	Pie	0,014	1,373	32	2,623	25,723
	Cuerpo	0,011	1,108	32	2,623	25,723
	Cabeza	0,007	0,686	32	2,623	25,723
9	Pie	0,012	1,147	32	2,695	26,429
	Cuerpo	0,003	0,304	32	2,695	26,429
	Cabeza	0,008	0,756	36	2,695	26,429
10	Pie	0,121	11,846	23	2,734	26,807
	Cuerpo	0,150	14,730	22	2,722	26,689
	Cabeza	0,161	15,769	24	2,630	25,790

Fuente: Elaboración propia

Los valores de cohesión, ángulo de fricción y peso específico están dentro de los rangos de valores según el tipo de suelo de las tablas de “Suelos, fundaciones y muros. María Graciela Fratelli. 1993”, “Principios de ingeniería y cimentaciones, Braja M. Das. 4ta edición. 2013” y “Mecánica de suelos y fundaciones, Budhu, 2000” enunciadas en el capítulo 2 del presente trabajo.

3.5.3.2 Ejemplos de cálculo de factor de seguridad manualmente

Para los ejemplos de cálculos a realizar se tomará como referencia los datos del talud N° 3, también cabe recalcar que se realizará únicamente el cálculo manual de los métodos Janbú y Fellenius, ya que el método Morgenstern-Price es un método netamente de computador.

Tabla 3. 5 Diferencias básicas entre diversos métodos de análisis de estabilidad de taludes

Método	Condición de equilibrio satisfecha				Ecuaciones e incógnitas	Forma de la superficie de falla	Aplicable a:	
	Mom. total	Mom. dovela	Vert.	Horiz.			Cálculos manuales	Cálculos en computador
Janbú	Sí	Sí	Sí	Sí	3n	Cualquiera	Sí	Sí
Fellenius	Sí	No	No	No	1	Circular	Sí	Sí
Morgenstern-Price	Sí	Sí	Sí	Sí	3n	Cualquiera	No	Sí

Fuente: Alva Hurtado, 1994

Método Janbú

Al ser un talud con suelo fino se empleó las condiciones para un suelo cohesivo:

- a) Parámetros que se requieren para el análisis:

Altura talud $H = 7,864$ m

Ángulo de fricción interna más desfavorable $\phi = 26^\circ$

Cohesión del suelo promedio $C = 21,179$ KN/m²

Altura del nivel freático $H_w = 0$ m

Presión de poro $u = 0$

Peso específico del suelo $\lambda = 25,668 \text{ KN/m}^3$

Peso dovela más grande $W = 27,789 \text{ KN/m}$

Ancho de la dovela $B = 0,30 \text{ m}$

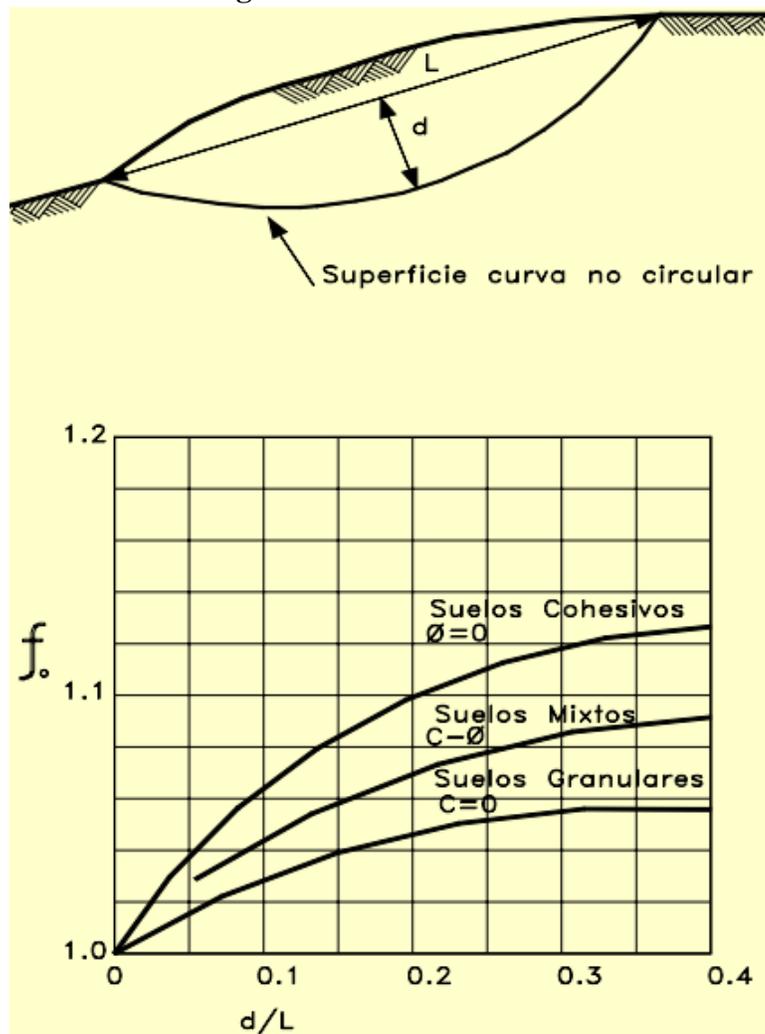
Ángulo de la base de la dovela con respecto a la horizontal $\alpha = 26^\circ$

Longitud de la base de la dovela $L = 9,057 \text{ m}$

Distancia más grande a línea de falla con respecto a la línea de la base de la dovela $d = 0,83 \text{ m}$

- b) Cálculo del “fo” factor de corrección para suelos cohesivos se obtiene del siguiente ábaco:

Figura 3. 4 Abaco Janbú



Fuente: Suárez Días. 1998.

Donde:

$$\frac{d}{L} = \frac{0,83}{9,057} = 0,09$$

$$fo = 1,06$$

c) Cálculo del factor de seguridad:

$$FS = \frac{fo * (c * B + (W - u * B) * \frac{\tan \phi}{\cos \alpha * (\cos \alpha * (1 + \frac{\tan \alpha * \tan \phi}{FS}))})}{W * \tan \alpha}$$

$$FS = \frac{1,06 * (21,179 * 0,30 + (27,891 - 0 * 0,30) * \frac{\tan 26}{\cos 26 * (\cos 26 * (1 + \frac{\tan 26 * \tan 26}{FS}))})}{27,891 * \tan 26}$$

Iterando:

$$FS = 1,373$$

d) Se puede observar un factor de seguridad aceptable por lo tanto se considera un “talud estable”.

Método Fellenius

Este método asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de los momentos con respecto al centro del círculo (producidos por estas fuerzas) se obtiene el factor de seguridad.

a) Parámetros que se requieren para el análisis:

Altura de cada suelo $H = 7,864$ m

Pendiente del talud $\beta = 74^\circ$

Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada dovela $\alpha = 48^\circ$

Cohesión del suelo promedio $C = 21,179 \text{ KN/m}^2$

Altura del nivel freático $H_w = 0 \text{ m}$

Presión de poro $u = 0$

Peso específico del suelo $\lambda = 25,668 \text{ KN/m}^3$

Peso de la dovela $W = 27,891 \text{ KN}$

Longitud del arco de círculo en la base de la dovela $\Delta l = 0,204 \text{ m}$

b) Cálculo del factor de seguridad mediante la fórmula Fellenius:

$$FS = \frac{\sum[C' \cdot \Delta l + (W \cdot \cos \alpha - u \cdot \Delta l \cdot \cos 2 \cdot \alpha) \cdot \tan \alpha]}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

$$FS = \frac{[21,179 \cdot 0,204 + (27,891 \cdot \cos 48 - 0 \cdot 0,204 \cdot \cos 2 \cdot 48) \cdot \tan 48]}{27,891 \cdot \sin 48}$$

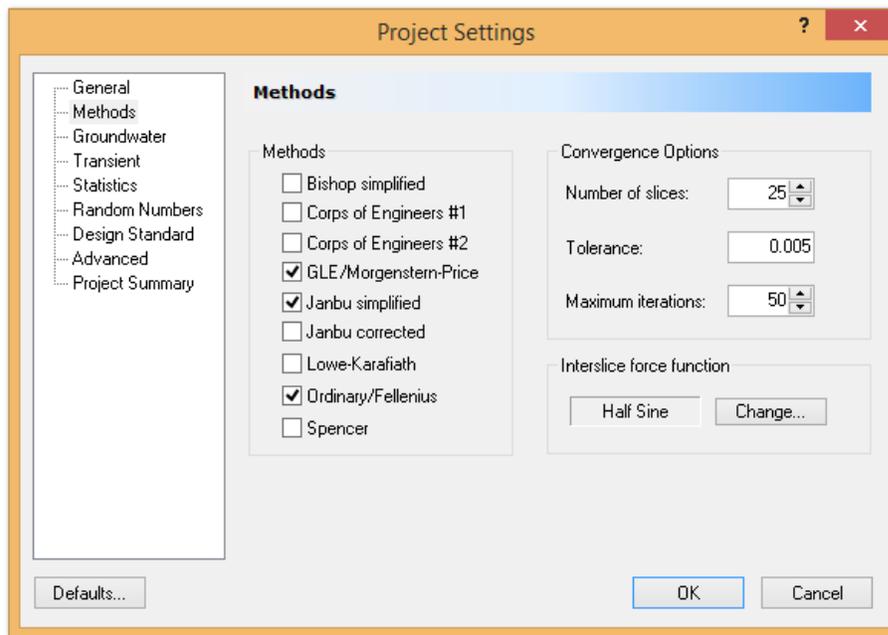
$$FS = 1,208$$

c) Se puede observar un factor de seguridad aceptable por lo tanto se considera “talud estable”.

3.5.3.3 Ejemplo de cálculo de factor de seguridad con programa Slide v6.0

a. Iniciando el programa vamos a la pestaña de “análisis” y definimos las “características del proyecto” (unidades, sentido de la falla, métodos a utilizar, cantidad de dovelas, nombre del proyecto, etc.)

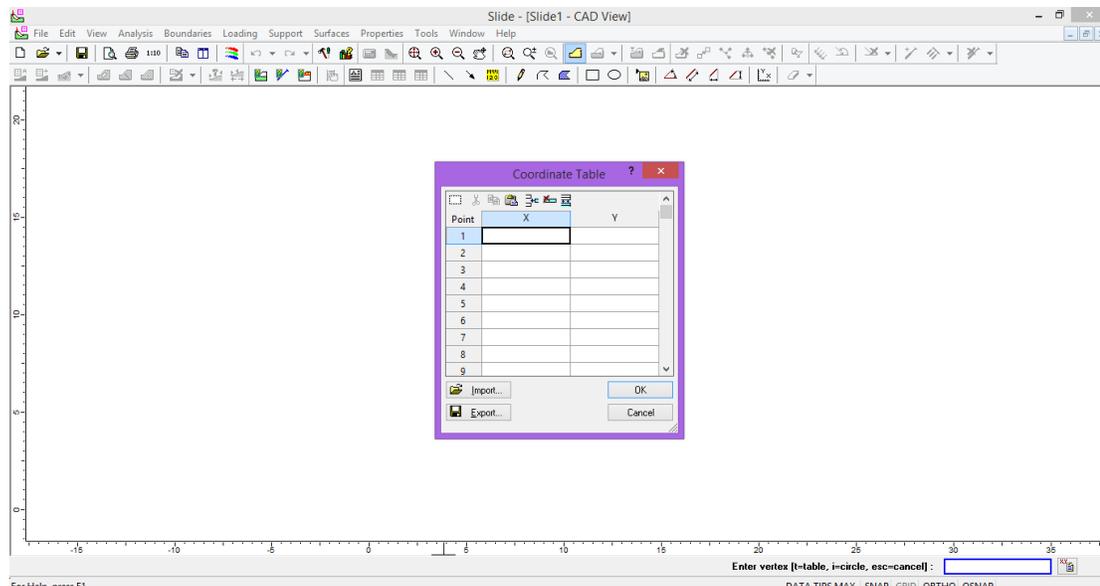
Figura 3. 5 Características del proyecto



Fuente: Slide v6.0

- b. Posteriormente añadimos el perfil del talud presionando “ctrl+1” y dirigiéndonos a la esquina inferior derecha, abrimos la pestaña e introducimos las coordenadas del perfil del talud.

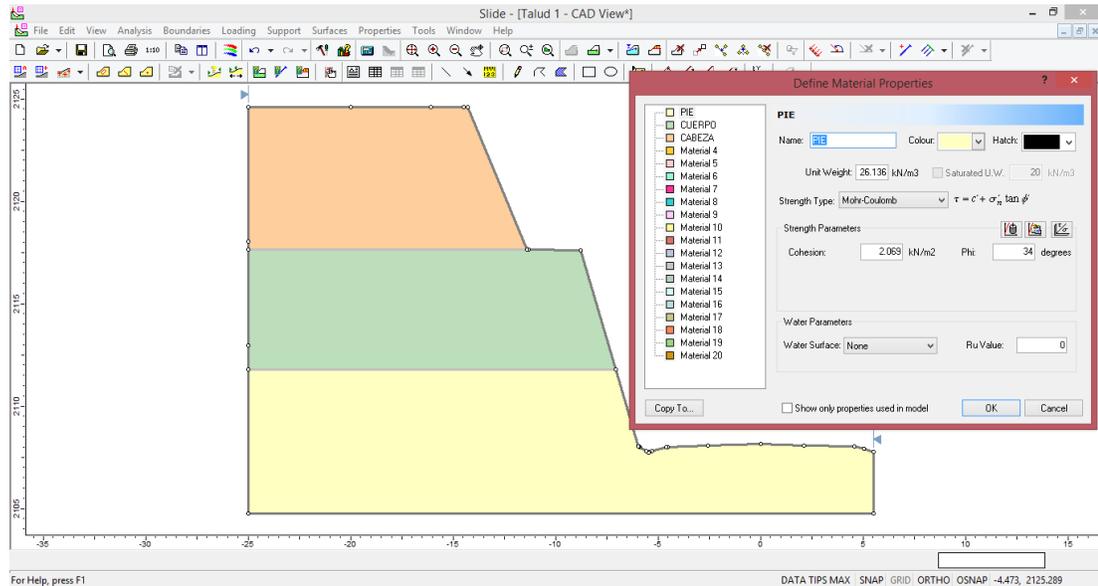
Figura 3. 6 Introducción de coordenadas del perfil del talud



Fuente: Slide v6.0

- c. Una vez definido el perfil se procede a definir los límites de las capas de material del talud y a dar las características de los materiales en la ventana “propiedades”, opción “definir propiedades de los materiales”.

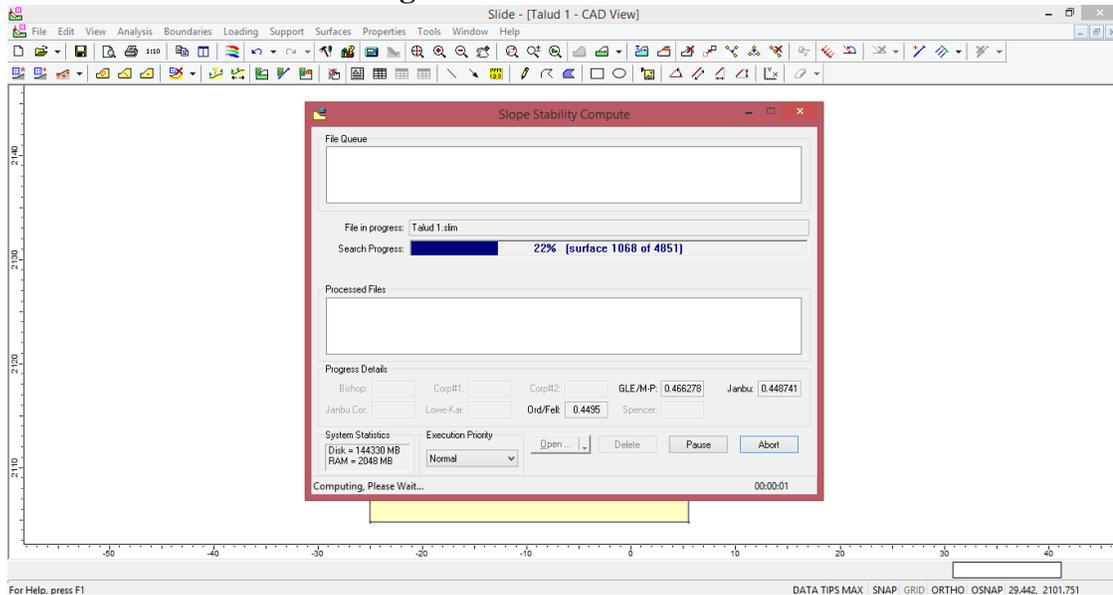
Figura 3. 7 Propiedades de los materiales



Fuente: Slide v6.0

- d. Luego se procede analizar el talud yendo a la pestaña “análisis” opción calcular.

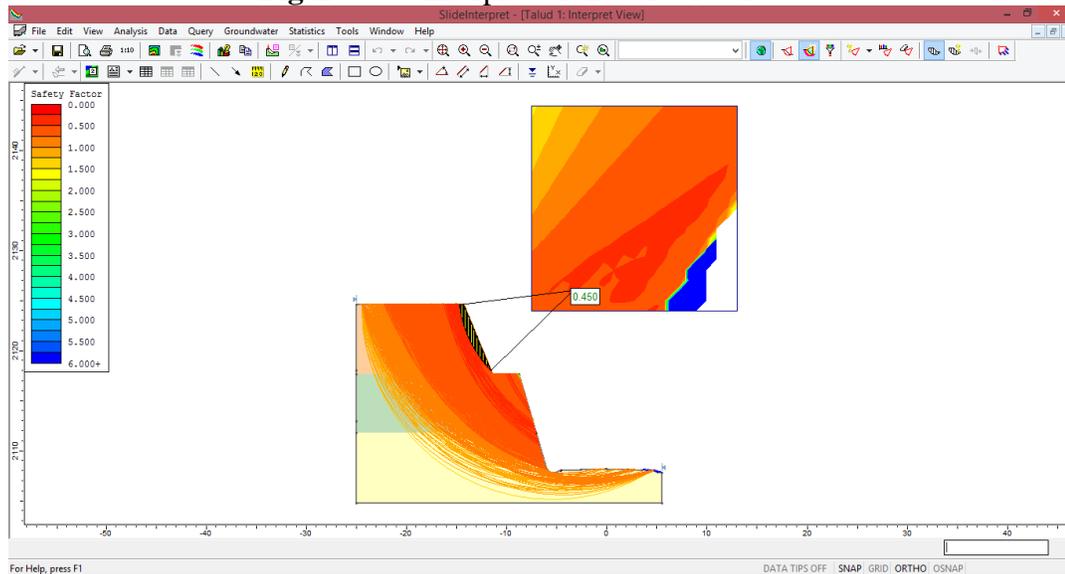
Figura 3. 8 Análisis del talud



Fuente: Slide v6.0

- e. Ya analizado el talud se abrirá una ventana donde podemos ver los factores de seguridad mínimos del talud, sus líneas de falla, ubicación de las fallas, dovelas, fuerzas aplicadas en la dovela y posibles fallas con un factor de seguridad superior.

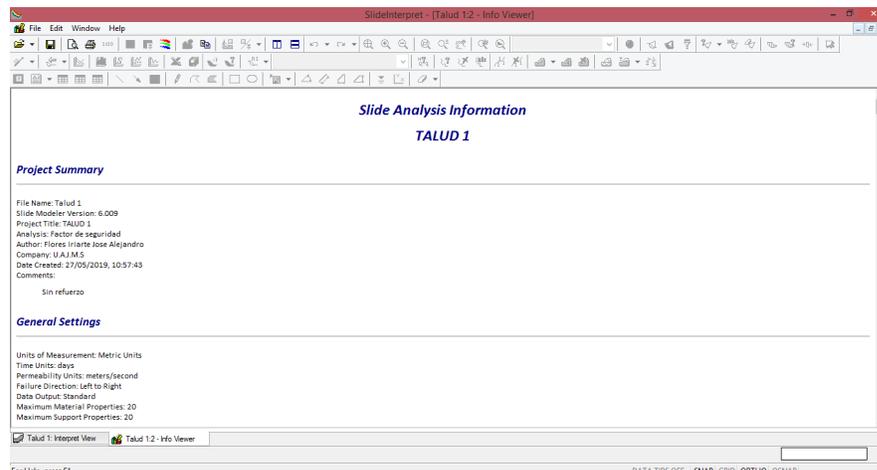
Figura 3.9 Interpretación de los resultados



Fuente: Slide v6.0

- f. El programa también elabora un informe de los cálculos realizados, donde indica a detalle todas las características del proyecto, para poder visualizar el informe debemos dirigirnos a la pestaña de “análisis” opción “info viewer”.

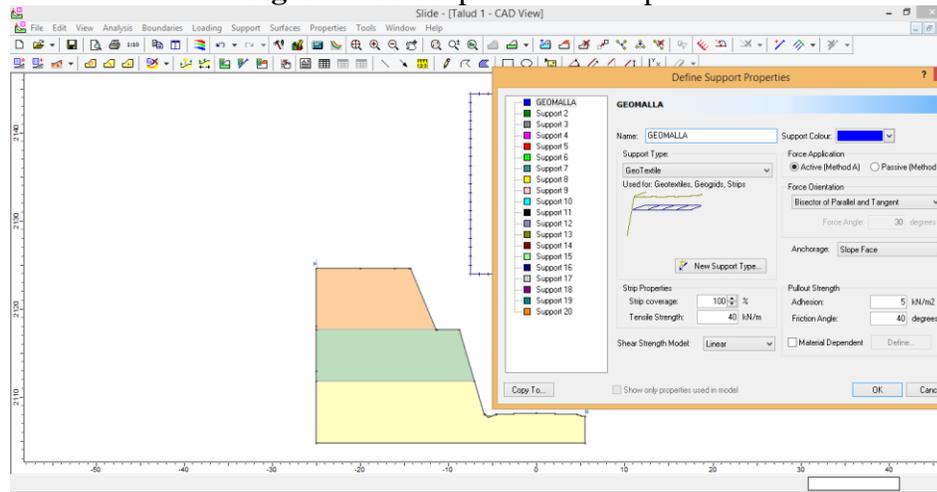
Figura 3.10 Informe y cálculos realizados por el programa.



Fuente: Slide v6.0

- g. Para las alternativas de solución se puede editar el perfil del talud partiendo del inciso (c) con “clic derecho editar coordenadas” y para añadir refuerzos al talud debemos ir a la pestaña de “propiedades” opción “definir propiedades de soportes”.

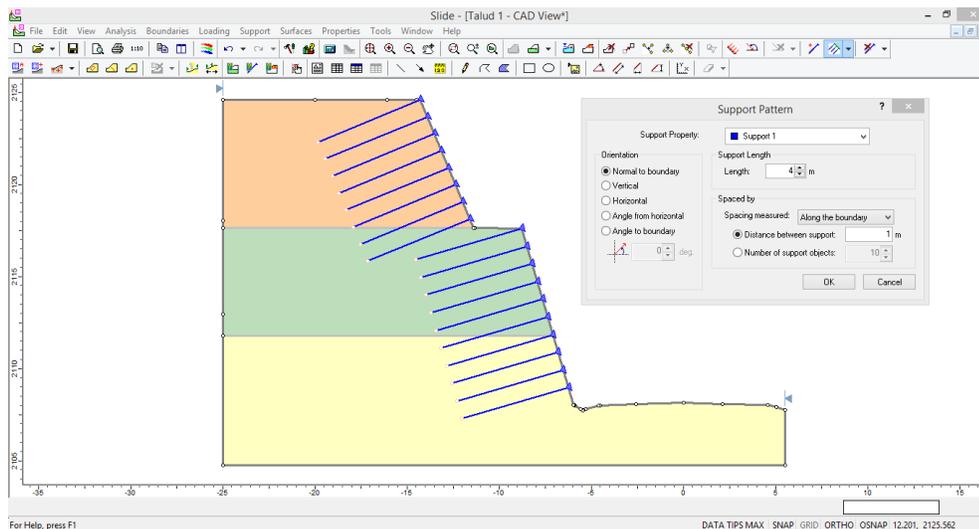
Figura 3. 11 Propiedades de soportes



Fuente: Slide v6.0

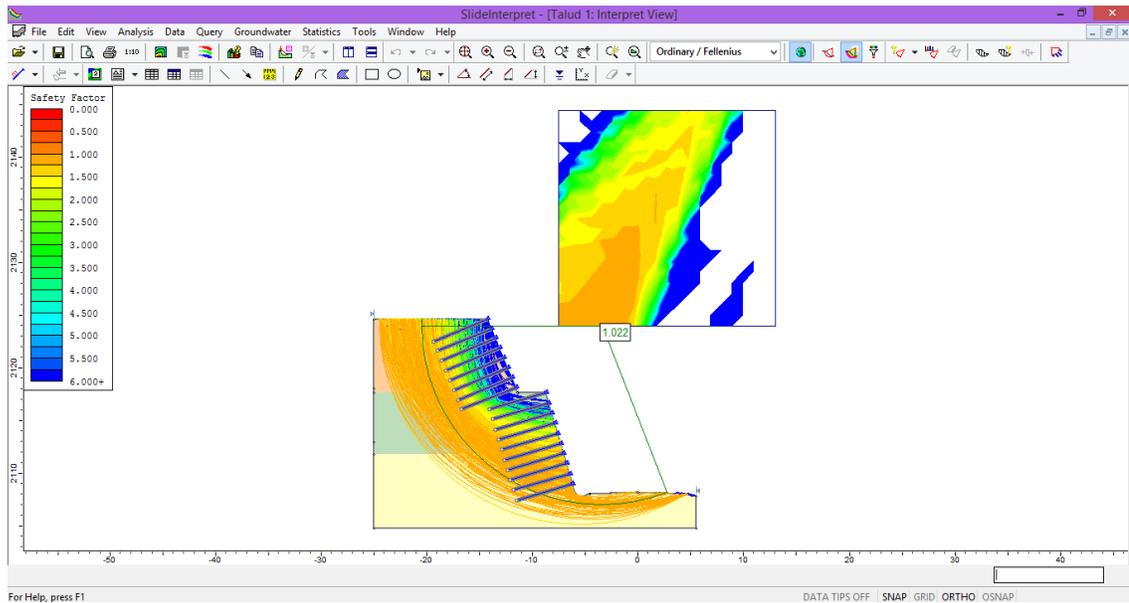
- h. Una vez establecidas las características y tipos de soportes, para añadirlos vamos a la ventana de “Support” opción “Add support” y añadimos los soportes al perfil del talud que necesitemos y posteriormente seguimos los pasos (d), (e) y (f) para finalizar el estudio.

Figura 3. 12 Colocado de soportes.



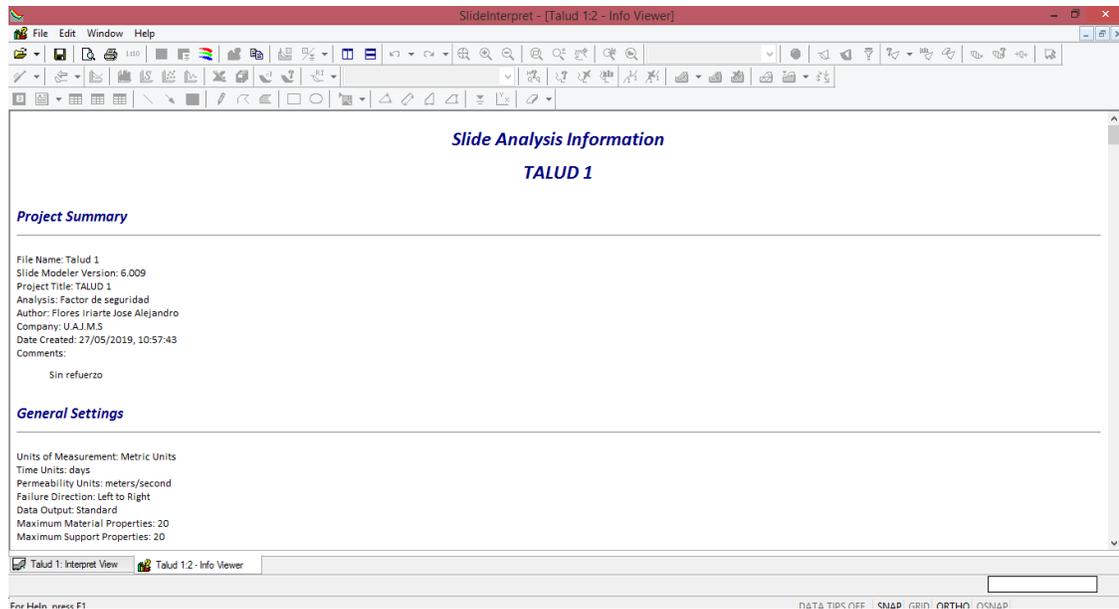
Fuente: Slide v6.0

Figura 3. 13 Análisis de resultados con refuerzos.



Fuente: Slide v6.0

Figura 3. 14 Informe y cálculos realizados por el programa.



Fuente: Slide v6.0

3.5.3.4 Resultados factor de seguridad con programa Slide v6.0

Con los datos obtenidos en el campo y laboratorio se procedió a procesarlos mediante el software Slide v6.0 para obtener su factor de seguridad de cada talud en estudio mediante los métodos Janbú, Fellenius y Morgenstern-Price sin alterar sus dimensiones, ni añadiendo refuerzos, para así verificar en qué estado están los mismos.

Tabla 3. 6 Factor de seguridad más desfavorable con programa Slide v6.0

Talud N°	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observaciones
1	0,440	0,441	0,442	Inestable
2	0,507	0,507	0,510	Inestable
3	1,057	1,031	1,031	Estable
4	0,649	0,685	0,648	Inestable
5	0,596	0,544	0,641	Inestable
6	0,269	0,269	0,329	Muy inestable
7	0,514	0,514	0,518	Inestable
8	0,345	0,345	0,366	Muy inestable
9	0,260	0,259	0,309	Muy inestable
10	0,526	0,528	0,541	Inestable

Fuente: Elaboración propia

3.5.3.5 Comparación método manual y método computacional

Tabla 3. 7 Resultados obtenidos manualmente y con software Slide v6.0

Talud N°	Método	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observaciones
3	Manual	1,373	1,208	1,031	Se observa que los métodos computacionales son más conservadores, esto es debido a que los métodos manuales hacen un promedio de los datos de peso específico y cohesión de los materiales que componen al talud.
	Slide v6.0	1,057	1,031	1,031	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA LA PROTECCIÓN DE LOS TALUDES

4.1. POSIBLES ACTUACIONES

De acuerdo con las recomendaciones de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras) manual técnico vol. 1, se plantean dos tipos de actuación encaminados a garantizar la seguridad en obras lineales con problemática asociada a caída de material:

- a. **Estabilización de taludes:** Saneamiento del talud, modificación de la pendiente, anclajes, mallas y redes metálicas, hormigón proyectado.
- b. **Medidas de protección contra caída de rocas:** Pantallas dinámicas, falsos túneles, muros de sostenimiento.

Siguiendo con estas recomendaciones de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras) manual técnico vol. 1, en principio y siempre que sea factible (desde el punto de vista técnico y económico) es aconsejable sin lugar a dudas establecer medidas de protección a la zona que queremos proteger pero como en el caso estudiado en el presente trabajo de grado, la problemática asociada al riesgo por caída de material son de grandes cantidades además que en su totalidad los taludes se encuentran pegados a la traza de la vía no habiendo espacio necesario para la implementación de algunas medidas de protección.

4.2 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE PROTECCIÓN

A pesar de que el objetivo de este trabajo de grado no es el de diseñar las medidas de estabilización que garanticen la seguridad en el trazado de la vía en estudio, se enumeran algunas propuestas respecto a las alternativas constructivas existentes, con finalidad únicamente orientativa.

4.2.1 Alternativas inviables técnica o económicamente

Primeramente descartaremos las alternativas inviables desde el punto de vista técnico y económico, para posteriormente centrarnos en las alternativas posibles y hacer un estudio más detallado de cada una de ellas.

Medidas de protección contra caída de rocas

Queda descartado de acuerdo a la dificultad técnica de ejecución ya que los taludes están pegados al trazo de la vía y no existe espacio suficiente para la implementación por ejemplo de muros de protección, zanjas de retención de caídas de material granular, como también los taludes son de gran altura y elevada pendiente se dificulta la implementación de pantallas dinámicas.

El saneamiento del talud

Es una tarea que no viene realizándose a lo largo del trazado por parte de personal especializado, siempre para volúmenes pequeños y cuando se tiene certeza de que no se van a producir daños sobre la vía. Esta medida debe seguir practicándose pero debe completarse con alguna otra medida de estabilización o protección.

Hormigón proyectado

Queda descartado debido a las excesivas dimensiones de los taludes en estudio, a la dificultad técnica de ejecución en razón a la orografía de la zona, a la escasa eficacia de la protección en vista a que el tamaño de bloque que puede desprenderse del talud es demasiado elevado, a problemas con el drenaje y al fuerte impacto ambiental.

4.2.2 Alternativas posibles

Debido que las soluciones mencionadas fueron descartadas anteriormente por motivos técnicos y económicos, nos queda el análisis de las medidas de estabilización de consolidación de suelos mediante mallas o membranas con anclajes que impiden el desprendimiento de material como por ejemplo la construcción de cosido de suelo Soil

Nailing, malla doble torsión, malla triple torsión reforzada, malla Tecco, red de cables, geomantas de control de erosión y sistema de impermeabilización de bermas.

4.2.3. Análisis de alternativas de protección

Con el propósito de elegir entre las alternativas posibles de estabilización para obtener la mejor solución posible a la problemática por caída de material en la zona de estudio del presente trabajo de grado, se hará un análisis verificando y comparando los factores de seguridad con cada refuerzo tomando en cuenta los siguientes puntos de vista para la elección de los mismos:

Coste económico.

Viabilidad técnica.

Grado de seguridad.

4.2.3.1 Soil Nailing

Definición

Se define Soil Nailing, como un sistema consistente en el refuerzo y consolidación del terreno por medio de la instalación de anclajes pasivos y una capa de hormigón proyectado reforzada mediante una armadura de malla o fibra.

Tabla 4. 1 Características Soil Nailing

Tratamiento	Función	Aplicaciones
Soil Nailing	Contención de tierras.	Consolidación de muros antiguos, creación de taludes verticales o sub verticales.

Fuente Desnivel obras 2012

Anclajes pasivos

Son barras de acero que pueden ser tanto autorroscables tipo Gewi de acero tipo AEH 500/550N/mm² como autoperforantes Titan, de acero tipo St 550/750. La longitud, diámetro y cuadrícula de anclaje vendrá definida según las características del proyecto.

Las características de los anclajes Titan y Gewi utilizados en Soil Nailing son las siguientes:

Tabla 4. 2 Características anclajes Titan.

Tipo	Diámetro exterior mm	Diámetro interior mm	Área m²	Carga en el límite elástico KN	Carga de trabajo KN Fs= 1.67	Peso kg/m
Titan 30/11	30	11	446	260	156	3,29
Titan 40/20	40	20	726	430	257	5,60
Titan 40/16	40	16	879	525	314	7,00

Fuente Desnivel obras 2012

Tabla 4. 3 Características anclajes Gewi.

Tipo	Diámetro exterior mm	Área m²	Carga en el límite elástico KN	Carga de trabajo KN Fs= 1.67	Peso Kg/m
Gewi 25	25	491	246	147	3,850
Gewi 32	32	804	402	226	6,310
Gewi 40	40	1257	628	354	9,860

Fuente Desnivel obras 2012

Hormigón proyectado

Hormigón cuyo tamaño máximo de árido no sea superior a 8 mm y que aplicado a máquina se proyecta por vía húmeda a gran velocidad sobre una superficie.

Dicho hormigón puede ir acompañado de aditivos para su mejor aplicación, colorantes para una mejor adaptación al entorno y refuerzo mediante fibra en sustitución del enmallado.

Armadura

Malla formada por dos sistemas de barras corrugadas que se cruzan entre sí perpendicularmente y cuyos puntos de contacto están unidos mediante soldadura eléctrica.

Dicha armadura tiene las siguientes características:

Tabla 4. 4 Características malla.

Tipo de malla	Peso		Área sección de acero por ml (Cm ² /m)
	Kg/m ²	Kg/panel	
15 x 15 x 6	2,870	37,880	1,880
20 x 20 x 8	3,635	47,990	2,510
15 x 15 x 8	5,012	66,160	3,350

Fuente: Desnivel obras 2012

Dicha armadura, en casos de taludes irregulares, es recomendable sustituirla por una malla triple torsión, por la fibra antes ya comentada o una combinación de ambas.

A continuación, se muestra un croquis respecto a su ejecución:

Figura 4. 1 Vista de perfil

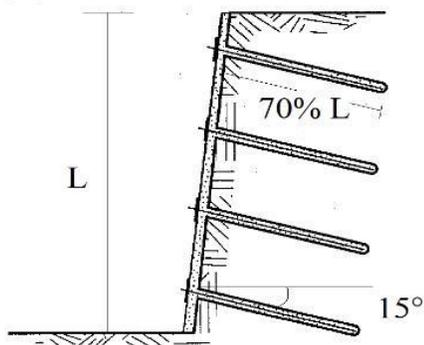
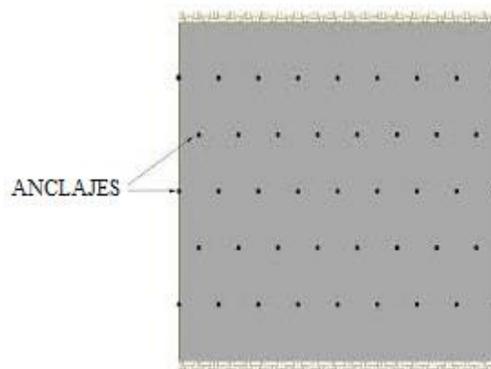


Figura 4. 2 Vista frontal



Fuente: Desnivel obras 2012

Coste económico

La construcción del Soil Nailig con hormigón proyectado de 15 cm tiene un costo aproximado de 1014 bolivianos el m², siendo un costo bastante elevado pero a la vez tiene un gran rendimiento de ejecución; por otro lado el costo de mantenimiento es muy bajo o casi nulo.

Viabilidad técnica

Con la tecnología existente en la actualidad el sistema de estabilización denominado Soil Nailing (cosido de suelo) es un sistema que se puede abordar sin ningún inconveniente; desde la parte de vista técnica el sistema de estabilización nos permite:

Adaptabilidad al tipo de terreno en estudio.

Ejecución rápida frente a soluciones tradicionales.

Se pierde menor superficie de terreno con respecto a otros sistemas de contención.

Grado de seguridad

Al estabilizar la superficie del talud mediante el sistema de Soil Nailing nos posibilita consolidar todas las partes inestables mejorando de gran manera la seguridad de los transeúntes de la vía, ya que se trata de una medida definitiva cuyo grado de protección es cercano al 100% de los casos aunque de fuerte impacto ambiental.

Tabla 4. 5 Factor de seguridad con refuerzo Soil Nailing más desfavorable con programa Slide v6.0

Talud N°	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observaciones FS > 1
1	1,034	1,069	1,276	Cumple
2	1,616	1,633	1,862	Cumple
3	1,661	1,647	1,829	Cumple
4	1,139	1,182	1,275	Cumple
5	1,296	1,239	1,500	Cumple
6	1,159	1,155	1,360	Cumple
7	1,337	1,398	1,618	Cumple
8	1,535	1,519	1,698	Cumple
9	1,027	1,032	1,210	Cumple
10	0,721	0,724	0,803	No cumple

Fuente: Elaboración propia

4.2.3.2 Malla TT reforzada

Definición

Se define malla de triple torsión anclada y reforzada con cables, como un sistema de componentes anclado sobre una superficie, capacitado para evitar y controlar desprendimientos y aportar estabilidad superficial al terreno, con una capacidad de carga definida.

Tabla 4. 6 Características malla triple torsión reforzada.

Tratamiento	Bulonado	Cuadrícula del bulonado m	Capacidad de carga del sistema KN/m ² Fs=1.67	Resistencia límite de la membrana KN/m
Malla de triple torsión anclada y reforzada con cables	Gewi plus 18	3,0 x 5,0	Hasta 5,40	40,80

Fuente: Desnivel obras 2012

Descripción

Malla de triple torsión del tipo 8x10/16 de 2,7 mm de diámetro, reforzada con cables horizontales de 12 mm de diámetro colocados cada 3 metros de altura y tensados desde los extremos. Anclada con bulones Gewi plus de 18 mm o su análogo Gewi de 20 mm (incluida la cabecera), de 3 metros de longitud, con una disposición de 1 bulón cada 15 m², anclada en pie, mediante barras de acero corrugado de 20 mm de diámetro y 0,80 metros de longitud, separadas cada 6 metros.

El sistema de malla de triple torsión anclada y reforzada con cables estará constituido por los siguientes materiales y componentes:

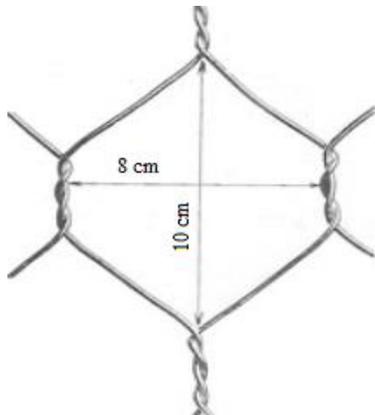
Malla de alambre de triple torsión

Malla de alambres de acero galvanizado que entrelazados entre sí por medio del sistema conocido por “triple torsión”, forma un tejido susceptible de ser sometido a determinados esfuerzos de tracción si se encuentra convenientemente vinculado. Tiene las siguientes características:

Tabla 4. 7 Características malla triple torsión reforzada

Tipo malla	Nº alambre	Diámetro alambre mm	Contenido Zn gr/m ²	Resistencia a tracción KN/ml por m de ancho	Largo m	Ancho m	Peso kg/m ²
8x10/16	16	2,70	260	40,80	100	4	1,35

Fuente Desnivel obras 2012

Figura 4. 3 Detalle malla

Las dimensiones de la luz de malla serán de 8 cm de ancho por 10 cm de largo.

El calibre del alambre galvanizado es del número 16 que equivale a 2,70 mm de diámetro.

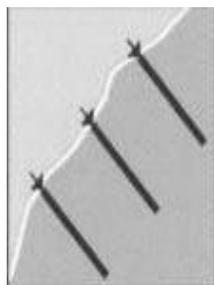
En el diámetro del alambre se admite una tolerancia después de tejido de $\pm 2,5 \%$. En las demás características, incluidas tolerancias dimensionales,

Fuente: Desnivel obras 2012

Anclajes interiores y de cabecera (bulones)

Serán barras de acero autorroscable tipo Gewi plus de acero tipo AEH 670/800 N/mm², de 18 mm de diámetro (o su equivalente Gewi 20) y 2 metros de longitud. En cabecera se colocarán con un espaciado de 3 m con profundidades de 2 m de longitud.

Dichos anclajes irán provistos de su tuerca correspondiente y placa especial en forma hexagonal con 3 bordes en forma de cuñas en dirección a la superficie del terreno.

Figura 4. 4 Detalle bulones

Fuente: Desnivel obras 2012

Figura 4. 5 Detalle placa hexagonal

Fuente: Desnivel obras 2012

Anclajes de pie

Serán barras de acero corrugado tipo B – 500 S, de 20 mm de diámetro y 0,80 m de longitud. Las barras se colocan en taladros practicados en el suelo y se aseguran posteriormente con lechada de cemento. La cabeza de la barra llevará un pliegue en forma de gancho por donde se pasará el cable de montaje. El espaciado entre los anclajes será de 6 metros.

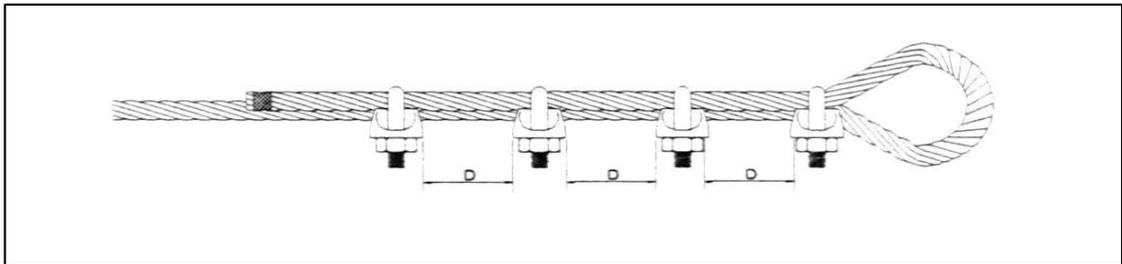
Cables de acero

Se emplearán cables trenzados de acero galvanizado 6x19 de alma textil de 12 mm de diámetro tanto para la coronación, pie y cable de refuerzo entre bulones.

Sujeta cables

Son accesorios necesarios para la correcta sujeción de los extremos de los cables de soporte de la malla de triple torsión. Los utilizados serán según norma DIN 741.

Figura 4. 6 Detalle malla



Fuente: Desnivel obras 2012

Coste económico

La construcción del sistema de estabilización de malla TT reforzada con una resistencia a la tracción de 40,80 KN/ml por metro de ancho tiene un precio aproximado de 335,92 bolivianos el m² siendo una solución bastante económica aunque con el tiempo necesita de mantenimiento.

Viabilidad técnica

El sistema de estabilización comprende mallas de alambre de acero galvanizado entrelazados entre sí por el medio conocido de triple torsión forma un tejido susceptible de ser sometido a determinados esfuerzos de tracción, proporciona una capacidad a la resistencia a tracción de 40,8 KN/m metro de ancho

Las ventajas de este sistema son:

Aumenta la estabilización superficial.

Impide acumulación de fragmentos desprendidos en el pie.

Ejecución rápida.

Escaso impacto visual de la actuación.

Grado de seguridad

A no ser de ejecutar el sistema en todo el talud el grado de seguridad no será muy elevado por ello es necesario cubrir toda el área inestable del talud con el sistema de esta manera brindar un mejor grado de seguridad.

Tabla 4. 8 Factor de seguridad con refuerzo malla TT reforzada más desfavorable con programa Slide v6.0

Talud N°	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observaciones FS > 1
1	1,004	1,038	1,173	Cumple
2	No aplicable			No cumple
3	No aplicable			No cumple
4	No aplicable			No cumple
5	No aplicable			No cumple
6	0,945	0,957	1,066	No cumple
7	1,078	1,102	1,168	Cumple
8	1,363	1,379	1,420	Cumple
9	0,983	0,997	1,206	No cumple
10	No aplicable			No cumple

Fuente: Elaboración propia

4.2.3.3 Tecco

Definición

Se define malla de alta resistencia Tecco, como un conjunto de elementos flexibles empleado en la estabilización de taludes o laderas degradadas, cuya superficie presenta grandes zonas inestables.

Tabla 4. 9 Características Tecco.

Tratamiento	Bulonado	Cuadrícula del bulonado m	Capacidad de carga del sistema KN/m² Fs=1,67	Resistencia límite de la membrana KN/m
Tecco S-10	Gewi plus 22	3,0 x 5,0	9,980	150
Tecco S-20	Gewi plus 28	3,0 x 4,0	20,450	150
Tecco S-30	Gewi plus 30	3,0 x 3,0	31,660	150

Fuente: Desnivel obras 2012

Descripción

Malla de alta resistencia Tecco Mesh G – 65, consistente en una malla romboidal de alambre de acero de alto límite elástico de 3 mm de diámetro, anclada al terreno mediante bulones de tipo Gewi plus (o su análogo Gewi), de diámetro y longitud variable, distribuidos al tresbolillo preferiblemente en las zonas deprimidas del talud con una longitud definida según el proyecto. Se emplearán dobles cables de arriostre y refuerzo de diámetro de 18 a 22 mm para el refuerzo longitudinal y de 22 mm para el refuerzo de cabecera y pie, los cuales se fijarán en los bordes laterales mediante anclajes de cable GA – 7001 tipo II, III o IV en el perímetro a una profundidad definida en el proyecto. La unión entre la malla y la cabeza de los anclajes se realiza con una placa especial de acero.

Características técnicas de los materiales

El sistema de malla de alta resistencia Tecco está constituido por los siguientes materiales y componentes:

Malla romboidal Tecco G – 65

Malla de alambres de acero de alto límite elástico que entrelazados convenientemente entre sí, forma un tejido susceptible de ser sometido a determinados esfuerzos de tracción.

Tiene las siguientes características:

Tabla 4. 10 Características malla romboidal Tecco G – 65

Diámetro alambre mm	Límite elástico del acero N/mm ²	Dimensiones del rombo mm	Resistencia límite a tracción directa KN/m
3	1770 – 2020	143 x 83	150

Fuente: Desnivel obras 2012

Anclajes interiores

Son barras de acero autorroscables Gewi plus (o su análogo Gewi) de diámetro y longitud variable. Dichos anclajes estarán distribuidos a tresbolillo según patrón de anclaje definido en función del soporte a conseguir, e irán provistos de su tuerca y placa especial de fijación correspondiente. Los anclajes interiores tienen las siguientes características:

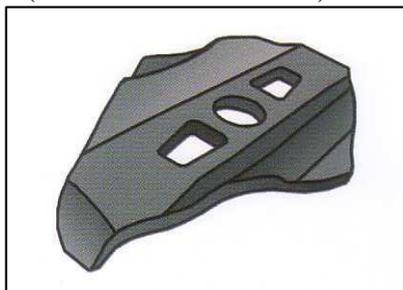
Tabla 4. 11 Características anclajes interiores.

Diámetro mm	Área mm ²	Carga en el límite elástico KN	Carga de trabajo KN	Peso kg/m
22 Plus	375	250	149,70	2,94
28 Plus	616	410	245,51	4,83
30 Plus	707	475	285,00	5,55
35 Plus	962	640	384,00	7,55

Fuente Desnivel obras 2012

Figura 4. 7 Placa de fijación

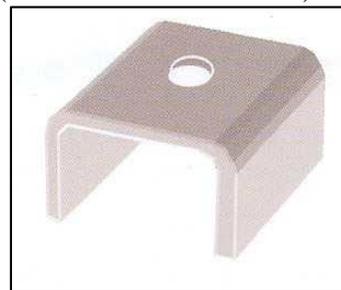
(Sin cables de refuerzo)



Fuente: Desnivel obras 2012

Figura 4. 8 Placa de amarre

(Para cables de refuerzo)



Fuente: Desnivel obras 2012

Anclajes perimetrales

Los anclajes de cabecera y pie serán barras tipo Gewi plus (o su análogo Gewi) de diámetro y longitud variable, en cuadrícula definida en función del soporte, provistas de su tuerca y placa especial correspondiente. En el caso que se requieran eslingas en la coronación por la inestabilidad cercana a la cabecera del talud, se utilizarán anclajes de doble cable espiral tipo GA-7001.

Los extremos de los cables de refuerzo, tanto en coronación y pie como en el borde del tratamiento, se fijarán a anclajes de doble cable espiral tipo GA-7001 de tipos II a IV según el soporte a conseguir.

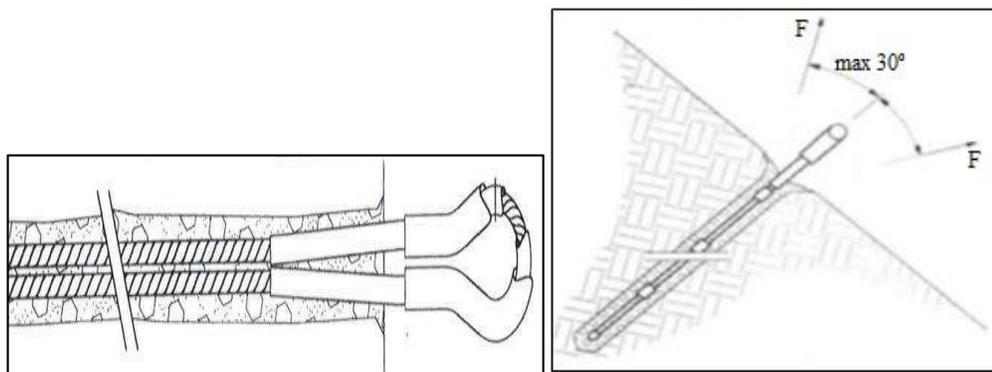
Los anclajes perimetrales GA-7001 son anclajes de cable flexibles constituidos por cable helicoidal doble, protegido en la zona de la cabeza expuesta al exterior por doble tubo de acero galvanizado. Tienen como misión realizar el anclado perimetral de los cables de sujeción de la malla y presentan las siguientes características:

Tabla 4. 12 Características anclajes perimetrales.

Tipo	Diámetro del cable Mm	Carga de trabajo KN	Carga de rotura KN	Peso kg/m
II	14,50	195	390	3,80
III	18,50	315	630	6,60
IV	22,50	470	940	10,50

Fuente: Desnivel obras 2012

Figura 4. 9 y Figura 4. 10 Detalle anclajes perimetrales GA-7001



Fuente: Desnivel obras 2012

Cables de acero

Están destinados para el perímetro del sistema y el soporte y transmisión de cargas a los anclajes. Se emplearán dobles cables trenzados de alma metálica de diámetro variable entre 18 y 22 mm para los cables de refuerzo longitudinal y 22 mm para cabecera y pie, mientras que se utilizará cable de alma metálica de 8 mm para el cosido de los paños de Tecco y los extremos laterales.

Los cables estarán formados por alambre de calidad 1770 N/mm², según DIN 3064.

Coste económico

La construcción del sistema de estabilización de malla romboidal tipo Tecco tiene un costo aproximado de 536,35 bolivianos el m² siendo un costo elevado pero a la vez es una solución de gran rendimiento con un coste mínimo de mantenimiento.

Viabilidad técnica

El sistema de estabilización de malla romboidal tipo Tecco es una malla flexible que a la vez nos proporciona una gran capacidad a la resistencia a tracción de 150 kN/m metro de ancho dándonos una solución técnica para grandes áreas inestables del talud; las principales ventajas técnicas son las siguientes:

Solución de gran capacidad de carga distribuida por toda la superficie.

Flexibilidad de patrón de anclaje.

Escasa deformación frente a empujes

Permite el drenaje natural y no impide la ejecución de otros tipos de drenaje.

Mayor protección a la corrosión debido a supercoating y composición del cordón

Ejecución rápida ya que no se necesitan reperfilados ni movimientos de tierras previos.

Escaso impacto visual combinable con técnicas de revegetación acelerada.

Grado de seguridad

De acuerdo a que el sistema de estabilización Tecco consiste de una malla romboidal de alambre de acero de alto límite elástico nos garantiza un alto grado de seguridad en las partes más deprimidas del talud inestable y de esta manera se asegura cualquier desprendimiento de roca que pudiera haber.

Tabla 4.13 Factor de seguridad con refuerzo malla Tecco más desfavorable con programa Slide v6.0

Talud N°	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observaciones FS > 1
1	1,278	1,351	1,609	Cumple
2	No aplicable			No cumple
3	No aplicable			No cumple
4	No aplicable			No cumple
5	No aplicable			No cumple
6	1,549	1,650	1,923	Cumple
7	1,866	1,810	1,948	Cumple
8	1,665	1,670	1,708	Cumple
9	1,540	1,661	1,870	Cumple
10	No aplicable			No cumple

Fuente: Elaboración propia

4.2.3.4 Red de cables TD-15

Definición

Se define red de cables, como un sistema de componentes flexibles, anclado sobre una superficie, empleado para el refuerzo y la estabilización de taludes de terrenos degradados.

Tabla 4. 14 Características red de cables.

Tratamiento	Bulonado	Cuadrícula del bulonado m	Capacidad de carga del sistema KN/m ²	Resistencia límite de la membrana KN/m
Red de cables TD - 15	Gewi plus 22	4,0 x 4,0	9	85
Red de cables TD - 15	Gewi plus 22	3,0 x 3,0	16,60	85

Fuente Desnivel obras 2012

A continuación, se presenta una descripción detallada de la estabilización mediante el sistema de red de cables TD-15.

Descripción

Red de cables de acero galvanizado del tipo TD – 15, de 8 mm de diámetro y luz de rombo de 300x300 mm, en paños de 4 x 4 m o 3 x 3 m, colocada sobre una malla de alambre de triple torsión de 8x10/16 de 2,7 mm de diámetro, adosadas directamente a la superficie de la ladera o talud de desmonte.

Los paños de red se cosen entre sí horizontal y verticalmente mediante cables de acero de alma metálica de 16 mm de diámetro tensados desde el perímetro.

La red está anclada al terreno mediante bulones Gewi plus de 22 mm de diámetro y 3 metros de longitud en el interior de la superficie y anclajes de cable GA-7001 tipo II en el perímetro.

Características técnicas de los materiales

El sistema de red de cables está constituido por los siguientes materiales y componentes:

Red de cables

Red romboidal de cables de acero galvanizado tipo TD – 15, de 8 mm de diámetro y luz de rombo de 300x300 y 4 metros de lado o 3 m. Está formada por un solo cable continuo de alambre galvanizado de 1770 N/mm², DIN – 2078 y los puntos de cruce fijados con grapas antideslizantes.

La red de cables tiene las siguientes características:

Tabla 4. 15 Características red de cables.

Resistencia ensayada en laboratorio (para paños 2 X 2 m)			
Carga a tracción directa KN/ml		Carga a punzonamiento KN	
Carga de rotura Fs=1	Carga de trabajo Fs=1,67	Carga de rotura Fs=1	Carga de trabajo Fs=1,67
85	51	76	45

Fuente: Desnivel obras 2012

Coste económico

El precio de ejecución del sistema de estabilización de cables TD-15 tiene un costo aproximado de 732,27 bolivianos por m².

Viabilidad técnica

Este sistema de estabilización compuesta por elementos flexibles con capacidad de soporte a tracción de 85 KN/metro de ancho donde las ventajas técnicas que nos ofrece el sistema son las siguientes:

Capacidad de carga garantizada en toda la superficie.

Permite el drenaje natural.

Ejecución rápida.

Escaso impacto visual de la actuación.

Grado de seguridad

La estabilización con este sistema nos garantiza una buena seguridad ya que además de la red de cables de 8 mm viene compuesta con malla triple torsión garantizando un alto nivel de resistencia con lo cual se podrá controlar los desprendimientos de material granular.

Tabla 4. 16 Factor de seguridad con refuerzo red de cables TD-15 más desfavorable con programa Slide v6.0

Talud N°	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observaciones FS > 1
1	1,259	1,335	1,549	Cumple
2	No aplicable			No cumple
3	No aplicable			No cumple
4	No aplicable			No cumple
5	No aplicable			No cumple
6	1,420	1,420	1,661	Cumple
7	1,581	1,598	1,742	Cumple
8	1,781	1,798	1,942	Cumple
9	1,221	1,274	1,428	Cumple
10	No aplicable			No cumple

Fuente: Elaboración propia

4.3.3.5 Red de cables continua

Definición

Se define como red de cables continua, un sistema de componentes flexibles anclado sobre una superficie, empleado para el refuerzo y la estabilización de taludes.

Tabla 4. 17 Características red de cables continua.

Tratamiento	Bulonado	Cuadrícula del bulonado m	Capacidad de carga del sistema KN/m ² Fs=1,67	Resistencia límite de la membrana KN/m
RDCC S-10	Gewi plus 22	3,5 x 4,0	10,690	100
RDCC S-15	Gewi plus 22	3,0 x 3,0	16,630	100
RDCC S-20	Gewi plus 28	3,0 x 4,0	20,460	100
RDCC S-25	Gewi plus 28	2,5 x 4,0	24,550	100
RDCC S-25	Gewi plus 28	2,0 x 4,0	30,690	100

Fuente Desnivel obras 2012

A continuación, se presenta una descripción detallada de la estabilización mediante el sistema red de cables continua.

Descripción

Red de cables de acero de alto límite elástico de 6,5 mm de diámetro, con una abertura de rombos de 275 mm, colocada sobre una malla de alambre de triple torsión de 8x10/16 de 2,7 mm de diámetro o de simple torsión tipo Deltax G-80 de 2 mm de diámetro, adosadas directamente a la superficie del talud de desmonte.

Los paños de red están unidos verticalmente mediante grilletes de alta resistencia.

La red está anclada al terreno mediante bulones Gewi plus de 22 o 28 mm de diámetro (depende de soporte sistema) en el interior de la superficie, tensados desde los extremos mediante doble cable de alma metálica de 16-20 mm y anclajes de cable GA-7001 tipo II en el perímetro a excepción de cabecera y pie donde cabe la posibilidad de realizarlo mediante bulonado.

Características técnicas de los materiales

El sistema de red de cables continua está constituido por los siguientes materiales y componentes:

Red de cables Quarox

Red romboidal de cables de acero de 6,5 mm de diámetro galvanizado mediante supercoating, con una abertura de 275 mm. Está formada por 3 alambres entrelazados de alto límite elástico 1770 N/mm² de 3 mm de diámetro. El cable forma la red mediante una simple torsión de unos rombos con otros.

Malla de simple torsión Deltax G80

Malla de alambres de acero galvanizado con supercoating entrelazados entre sí mediante simple torsión, formando un tejido susceptible de ser sometido a determinados esfuerzos de tracción si se encuentra convenientemente vinculado. Tiene las siguientes características:

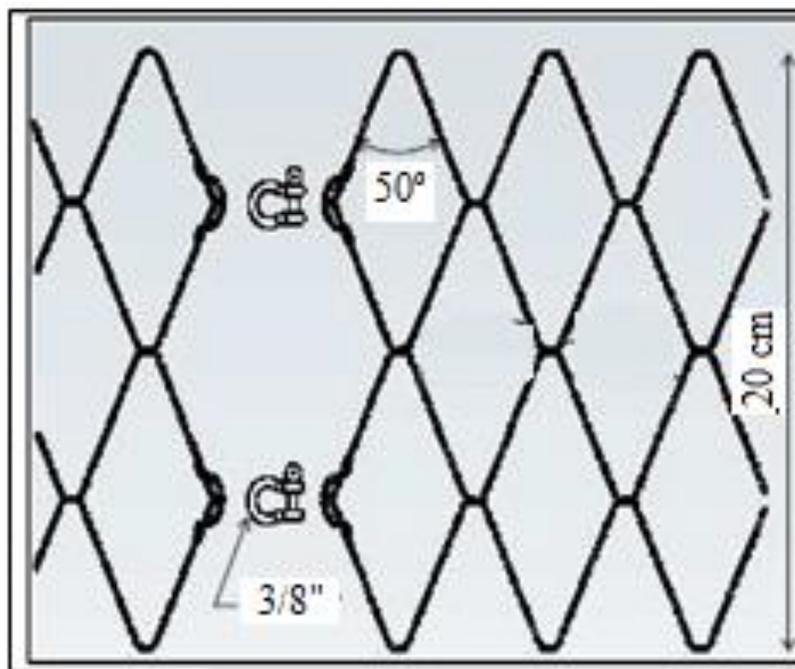
Tabla 4. 18 Características malla de simple torsión Deltax G80.

Tipo malla	N° alambre	Diámetro alambre mm	Galvanizado supercoating g/m ² (95% Zn/5% Al)	Resistencia a tracción N/ml x m de ancho	Largo m.	Ancho m.	Peso kg/m ²
Deltax G80	13	2,00	150	54	30	3,50	0,73

Fuente: Desnivel obras 2012

Grilletes

Se utilizan para la unión de los paños contiguos de red de cables Quarox. Dichos grilletes son de 3/8 " y deben ser de alta resistencia.

Figura 4. 11 Detalle grilletes.

Fuente Desnivel obras 2012

Coste económico

El precio de ejecución del sistema de estabilización de cables continuos tiene un costo aproximado de 854,94 bolivianos el m².

Viabilidad técnica

El sistema de estabilización de cables continuos de alta resistencia 100 KN/m que además comprende una malla triple torsión aumentando su capacidad de resistencia es empleada en taludes de grandes alturas donde sus principales ventajas son las siguientes:

Libertad de adopción de cuadrícula de bulonado.

Capacidad de carga garantizada en toda la superficie.

Permite el drenaje natural.

Ejecución rápida.

Escaso impacto visual de la actuación, permite revegetación.

Grado de seguridad

La ejecución del método de estabilización nos brinda un elevado grado de seguridad ya que al tener red de cable de alta resistencia es capaz de sostener grandes cantidades de cargas garantizando la estabilización total de la superficie a emplear el sistema.

Tabla 4. 19 Factor de seguridad con refuerzo red de cables continua más desfavorable con programa Slide v6.0

Talud N°	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observaciones FS > 1
1	1,361	1,452	1,699	Cumple
2	No aplicable			No cumple
3	No aplicable			No cumple
4	No aplicable			No cumple
5	No aplicable			No cumple
6	1,520	1,541	1,762	Cumple
7	1,642	1,681	1,766	Cumple
8	1,711	1,738	1,911	Cumple
9	1,329	1,392	1,572	Cumple
10	No aplicable			No cumple

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.6 Impermeabilización de bermas

Coste económico

La impermeabilización de bermas tiene un coste aproximado de 223,20 bolivianos el m² siendo una solución económica de gran rendimiento en las áreas afectadas con un coste nulo de mantenimiento.

Viabilidad técnica

En la zona se cuenta con los materiales necesarios pero la mayor dificultad son los taludes de gran altura, se dificulta llegar hasta las bermas con los materiales pero es totalmente abordable desde el punto de vista técnico.

Grado de seguridad

Al impermeabilizar las bermas de los taludes nos garantiza que no haya desprendimientos de rocas por causa del agua ya que esta es el mayor problema que causa los desprendimientos de rocas aunque el sistema no garantiza una seguridad.

Tabla 4. 20 Factor de seguridad con impermeabilización de bermas más desfavorable con programa Slide v6.0

Talud N°	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observaciones FS > 1
1	0,440	0,441	0,442	No cumple
2	0,507	0,507	0,510	No cumple
3	1,057	1,031	1,031	Cumple
4	0,649	0,685	0,648	No cumple
5	0,596	0,544	0,641	No cumple
6	0,269	0,269	0,329	No cumple
7	0,514	0,514	0,518	No cumple
8	0,345	0,345	0,366	No cumple
9	0,260	0,259	0,309	No cumple
10	0,526	0,528	0,541	No cumple

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.7 Mallas doble torsión GalMac® 4R

Definición

La Red de Alta Resistencia (R.A.R.) consiste en una malla hexagonal de doble torsión, producida a partir de alambre de acero de bajo contenido de carbono, con revestimiento GalMac® 4R., empleado para el refuerzo y la estabilización de taludes.

Tabla 4. 21 Características malla GalMac® 4R.

Malla	Diámetro mm	Cuadrícula del rombo Cm	Resistencia tracción de la membrana KN/m
RAR G4R	2,40	8,0x 10,0	40
RAR G4R	2,70	8,0 x 10,0	50
RAR G4R	3,00	8,0 x 10,0	60
RAR G4R	2,70	10,0 x 12,0	37
RAR G4R	2,70	6,0 x 8,0	55

Fuente: Maccaferri

A continuación, se presenta una descripción detallada de la estabilización mediante el sistema malla hexagonal de doble torsión.

Descripción

La malla hexagonal de doble torsión tiene aberturas tipo 8 x 10 cm u 6 x 8 cm., el diámetro de alambre de la malla está entre 2,2 y 3,4 mm dependiendo de la abertura de la malla, está fuertemente galvanizada y reforzada en las aristas.

Este sistema es utilizado cuando los bloques, susceptibles al desprendimiento (caída) y sus fragmentos, no son menores que la abertura de la malla, tampoco mayores que 0,5 m de diámetro

Los tipos de anclaje y la separación entre los mismos depende del tipo de material del talud que se desea estabilizar, los desprendimientos, o si se encauzan hacia la parte baja lo cual es preferible, dejando el anclaje adecuado en la parte inferior para poder remover la malla, sacando el desprendimiento acumulado y volver a fijar la malla. Es preferible

fijar la malla en la parte inferior del talud con anclajes de barras de acero haciendo esto desmontable, para su mantenimiento.

Coste económico

El precio de ejecución del sistema de estabilización GalMat® 4R tiene un costo aproximado de 49,33 bolivianos el m².

Viabilidad técnica

El sistema de estabilización GalMat® 4R de alta resistencia 60 KN/m que además que comprende de una malla doble torsión aumentando su capacidad de resistencia es empleada en taludes de grandes alturas donde sus principales ventajas son las siguientes:

Libertad de adopción de cuadrícula.

Capacidad de carga garantizada en toda la superficie.

Permite el drenaje natural.

Ejecución rápida.

Escaso impacto visual de la actuación, permite revegetación.

Grado de seguridad

La ejecución del método de estabilización nos brinda un elevado grado de seguridad ya que al tener malla de alta resistencia es capaz de sostener grandes cantidades de cargas garantizando la estabilización total de la superficie a emplear el sistema.

Tabla 4. 22 Factor de seguridad con refuerzo GalMac® 4R más desfavorable con programa Slide v6.0

Talud N°	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observaciones FS > 1
1	0,611	0,628	0,716	No cumple
2	No aplicable			No cumple
3	No aplicable			No cumple
4	No aplicable			No cumple
5	No aplicable			No cumple
6	0,737	0,756	0,862	No cumple
7	0,787	0,843	0,925	No cumple
8	0,788	0,800	0,878	No cumple
9	0,581	0,587	0,668	No cumple
10	No aplicable			No cumple

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.8 Geomantas de control de erosión

Malla MacMat® R1 - GalMac®

El MacMat® R1 - GalMac® 4R de Maccaferri, es un geocompuesto formado por la asociación de una geomanta flexible, tridimensional, que presenta más de 90% de vacíos, fabricada a partir de filamentos gruesos de polipropileno, fundidos en todos los puntos de contacto y, un refuerzo metálico, confeccionado con malla hexagonal de doble torsión, producida con alambres de acero de bajo contenido de carbono, revestidos con la aleación GalMac 4R.

Tabla 4. 23 Características malla MacMat® R1 - GalMac®

Malla	Diámetro Mm	Cuadrícula del rombo Cm	Resistencia tracción de la membrana KN/m
R1-G4R	2,20	6,0 x 8,0	37
R1-G4R	2,40	8,0 x 10,0	40
R1-G4R	2,70	8,0 x 10,0	50
R1-G4R	2,20	6,0 x 8,0	37

Fuente: Maccaferri

A continuación, se presenta una descripción detallada de la estabilización mediante el sistema malla MacMat® R1 - GalMac®

Descripción

La malla hexagonal de doble torsión tiene aberturas tipo 8 x 10 cm u 6 x 8 cm., el diámetro de alambre de la malla está entre 2,2 y 3,4 mm dependiendo de la abertura de la malla, está fuertemente galvanizada y reforzada en las aristas.

La asociación de la geomanta y el refuerzo metálico, constituyendo un geocom-puesto, permite que estos elementos trabajen juntos, confiriendo a la solución características de elevada capacidad anti-erosiva, con óptima resistencia a la tracción. Por esta razón, es indicada, para situaciones en las que existan taludes susceptibles a la erosión, con grandes alturas y pendientes muy empinadas, ya que, añade las ventajas de la geomanta a aquellas de un elemento de refuerzo.

Los tipos de anclaje y la separación entre los mismos depende del tipo de material del talud que se desea estabilizar, los desprendimientos, o si se encauzan hacia la parte baja lo cual es preferible, dejando el anclaje adecuado en la parte inferior para poder remover la malla, sacando el desprendimiento acumulado y volver a fijar la malla. Es preferible fijar la malla en la parte inferior del talud con anclajes de barras de acero haciendo esto desmontable, para su mantenimiento.

Coste económico

El precio de ejecución del sistema de estabilización MacMat® R1 - GalMac® tiene un costo aproximado de 88 bolivianos el m².

Viabilidad técnica

El sistema de estabilización MacMat® R1 - GalMac® de alta resistencia 50 KN/m que además comprende de una malla doble torsión aumentando su capacidad de resistencia es empleada en taludes de grandes alturas donde sus principales ventajas son las siguientes:

Libertad de adopción de cuadrícula.

Capacidad de carga garantizada en toda la superficie.

Permite el drenaje natural.

Ejecución rápida.

Escaso impacto visual de la actuación, permite revegetación.

Grado de seguridad

La ejecución del método de estabilización nos brinda un elevado grado de seguridad ya que al tener una geomanta y el refuerzo metálico es capaz de sostener grandes cantidades de cargas garantizando la estabilización total de la superficie a emplear el sistema.

Tabla 4. 24 Factor de seguridad con refuerzo MacMat® R1 - GalMac® más desfavorable con programa Slide v6.0

Talud N°	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observaciones FS > 1
1	0,601	0,617	0,705	No cumple
2	1,090	1,104	1,153	Cumple
3	1,314	1,305	1,367	Cumple
4	0,747	0,779	0,804	No cumple
5	0,867	0,835	0,902	No cumple
6	0,719	0,744	0,848	No cumple
7	0,718	0,760	0,836	No cumple
8	0,755	0,765	0,834	No cumple
9	0,570	0,574	0,651	No cumple
10	0,547	0,550	0,581	No cumple

Fuente: Elaboración propia

Malla MacMat® R3

El MacMat® R3 de Maccaferri, es una geomanta antierosiva reforzada, fabricada a partir de filamentos poliméricos fundidos en todos los puntos de contacto. Presenta elevada flexibilidad, es tridimensional, presentando más de 90% de vacíos. Fue especialmente desarrollada para el control de la erosión superficial en taludes y cursos de agua.

Tabla 4. 25 Características malla MacMat® R3

Resistencia tracción KN/m	Ancho m	Largo m	Espesor nominal mm
> 4	2	50	15

Fuente: Maccaferri

A continuación, se presenta una descripción detallada de la estabilización mediante el sistema malla MacMat® R3

Los tipos de anclaje y la separación entre los mismos depende del tipo de material del talud que se desea estabilizar, los desprendimientos, o si se encausan hacia la parte baja lo cual es preferible, dejando el anclaje adecuado en la parte inferior para poder remover la malla, sacando el desprendimiento acumulado y volver a fijar la malla. Es preferible fijar la malla en la parte inferior del talud con anclajes de barras de acero haciendo esto desmontable, para su mantenimiento.

Coste económico

El precio de ejecución del sistema de estabilización MacMat® R3 tiene un costo aproximado de 67 bolivianos el m².

Viabilidad técnica

El sistema de estabilización MacMat® R3 es empleado en taludes arcillosos donde sus principales ventajas son las siguientes:

Libertad de adopción de cuadrícula.

Capacidad de carga garantizada en toda la superficie.

Permite el drenaje natural.

Ejecución rápida.

Escaso impacto visual de la actuación, permite revegetación.

Grado de seguridad

La ejecución del método de estabilización nos brinda un bajo grado de seguridad ya que al tener una geomanta solo dependería de la pendiente del talud y es capaz de garantizar la antierosión del talud garantizando la estabilización total de la superficie a emplear el sistema.

Tabla 4. 26 Factor de seguridad con refuerzo MacMat® R3 más desfavorable con programa Slide v6.0

Talud N°	Janbú	Fellenius	Morgenstern -Price	Observaciones FS > 1
1	0,440	0,441	0,442	No cumple
2	0,507	0,507	0,510	No cumple
3	1,057	1,031	1,031	Cumple
4	0,649	0,685	0,648	No cumple
5	0,596	0,544	0,641	No cumple
6	0,269	0,269	0,329	No cumple
7	0,514	0,514	0,518	No cumple
8	0,345	0,345	0,366	No cumple
9	0,260	0,259	0,309	No cumple
10	0,526	0,528	0,541	No cumple

Fuente: Elaboración propia

4.3 ELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Con los puntos de vista anteriormente comentados (económico, técnico y grado de seguridad, etc.) se prosigue con la elección de alternativas para los diferentes taludes en estudio según el problema y grado de inestabilidad de cada uno.

La siguiente tabla representa un resumen de los tipos de refuerzos, precios unitarios y si cumplen las condiciones del factor de seguridad mínimo:

Tabla 4. 27 Elección de alternativas

Refuerzo	Mov de tierras	Malla GalMac ® 4R	Malla MacMat ® R3	Malla MacMat R1 - GalMac	Imp. de bermas	Malla TT reforzada	Malla Tecco	Red de cables TD-15	Red de cables continua	Soil Nailing
Precio unitario (Bs.)	18,24	49,33	67,17	88,00	223,20	335,92	536,15	732,27	854,94	1013,48
Unidad	m ³	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
Talud N°	FS > 1									
1	Cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
2	Cumple	No cumple	No cumple	Cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	Cumple
3	Cumple	No cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	Cumple
4	Cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	Cumple
5	Cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	Cumple
6	Cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
7	Cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
8	Cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
9	Cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
10	Cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple

Fuente: Elaboración propia

La combinación de movimientos de tierras con cualquier refuerzo cumplirá con el factor de seguridad mínimo $FS > 1$.

4.3.1 Talud N° 1 – Progresiva Km 3+200

El talud presenta un mecanismo de inestabilidad debido a falla por vuelco, las inestabilidades se producen continuamente, obligando a un mantenimiento regular del talud, de las cunetas y de la propia calzada.

Tras el estudio de campo y de un cálculo del factor de seguridad mediante el software Slide v6.0 mediante tres métodos se pudo observar que el talud era inestable y de alto riesgo.

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern -Price	Observación: FS > 1
1	74°	0,440	0,441	0,442	No cumple

Para evitar desprendimientos y mejorar la estabilidad del talud se propone la siguiente alternativa de solución:

Partiendo del resultado del FS es considerado un **talud inestable** donde la medida de actuación para estabilizar el talud según su FS fue de bajar la pendiente del mismo y bajar considerablemente la pendiente de la cabeza del talud mediante movimiento de tierras dando una pendiente de 45° y reforzarlo con mallas doble torsión GalMac® 4R de 8x10 de abertura y 3mm de espesor, con una resistencia a tracción de 60 KN/m y pequeños anclajes cada 50 cm.

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern -Price	Observación: FS > 1
1	45°	1,046	1,064	1,179	Cumple

4.3.1.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de dimensiones grandes y de una pendiente de 74°, al realizar la acción mencionada se logró bajar a una pendiente de 45° que se aproxima al ángulo de fricción del talud dándonos un grado de seguridad aceptable garantizando el impedimento de algún deslizamiento, el sistema es de rápida ejecución.

Fotografía 4. 1 Movimiento de tierras



Fuente: Desnivel obras 2012

4.3.1.2 Sistema de estabilización mallas doble torsión GalMac® 4R

Se eligió este sistema ya que su alta viabilidad técnica en la ejecución de taludes de gran altura garantiza la capacidad de controlar y evitar los desprendimientos de material granular, el costo es bajo y el sistema garantiza la seguridad con un costo de mantenimiento casi nulo.

Fotografía 4. 2 Mallas doble torsión GalMac® 4R



Fuente: Maccaferri

4.3.2 Talud N° 2 – Progresiva Km 5+300

El presente talud presenta caída de sedimentos en las cunetas que ocasiona estancamiento de agua en las mismas, también presenta en la cabeza del talud una capa de material granular lo que ocasiona desprendimientos de material granular que no son de gran tamaño pero que ocasionan peligro para los transeúntes ya que el talud está muy cerca del trazo de la vía.

Tras el estudio de campo y de un cálculo del factor de seguridad mediante el software Slide v6.0 mediante tres metodos se pudo observar que el talud era inestable.

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observación: FS > 1
2	68°	0,507	0,507	0,510	No cumple

Para evitar desprendimientos y mejorar la estabilidad del talud se propone la siguiente alternativa de solución:

Partiendo del resultado del FS es considerado un **talud inestable** donde la medida de actuacion para estabilizar el talud según su FS fue de estabilizarlo con la malla MacMat® R1 - GalMac® 4R antierosiva de 8x10 de abertura y 2,7mm de espesor, con una resistencia a tracción de 50 KN/m y pequeños anclajes cada 50 cm.

Gracias a estas medidas se obtuvieron los siguientes factores de seguridad:

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observación: FS > 1
2	68°	1,090	1,104	1,153	Cumple

4.3.2.1 Sistema de estabilización mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R

Se eligió este sistema ya que su alta viabilidad técnica en la ejecución de taludes, la asociación de la geomanta y el refuerzo metálico, constituyen un geocompuesto, que permite que estos elementos trabajen juntos, confiriendo a la solución características de elevada capacidad anti-erosiva, con óptima resistencia a la tracción. Por esta razón, es indicada, para situaciones en las que existan taludes susceptibles a la erosión, con grandes

alturas y pendientes muy empinadas, ya que, añade las ventajas de la geomanta a aquellas de un elemento de refuerzo, el costo es bajo y el sistema garantiza la seguridad con un costo de mantenimiento casi nulo y permite crecimiento de vegetación.

Fotografía 4. 3 Mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R



Fuente: Maccaferri

4.3.3 Talud N° 3 – Progresiva Km 5+820

Este talud al igual que el anterior presenta caída de sedimentos en las cunetas que ocasiona estancamiento de agua en las mismas, también presenta signos de erosión lo que ocasiona desprendimientos que no son de gran tamaño pero que ocasionan molestias para los transeúntes ya que el talud está muy cerca del trazo de la vía.

Tras el estudio de campo y de un cálculo del factor de seguridad mediante el software Slide v6.0 mediante tres métodos se pudo observar que el talud era ligeramente inestable.

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observación: FS > 1
3	74°	1,057	1,031	1,031	Cumple

Para evitar desprendimientos y mejorar la estabilidad del talud se propone la siguiente alternativa de solución:

Partiendo del resultado del FS es considerado un **talud estable** donde la medida de actuación para estabilizar el talud según su FS es colocar una manta antierosiva MacMat® R3. Gracias a estas medidas se obtuvieron los siguientes factores de seguridad:

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observación: FS > 1
3	74°	1,130	1,107	1,132	Cumple

4.3.3.1 Sistema de estabilización mallas MacMat® R3

Se eligió este sistema ya que su alta viabilidad técnica en la ejecución de taludes es una geomanta antierosiva reforzada, fabricada a partir de filamentos poliméricos fundidos en todos los puntos de contacto. Presenta elevada flexibilidad, es tridimensional, presentado más de 90% de vacíos. Fue especialmente desarrollada para el control de la erosión superficial en taludes y cursos de agua., el costo es bajo y el sistema garantiza la seguridad con un costo de mantenimiento casi nulo y permite crecimiento de vegetación.

Fotografía 4. 4 Mallas MacMat® R3



Fuente: Maccaferri

4.3.4 Talud N° 4 – Progresiva Km 7+880

El talud presenta grandes desprendimientos y caída de sedimentos que se producen continuamente, obligando a un mantenimiento regular de las cunetas y de la propia calzada.

Tras el estudio de campo y de un cálculo del factor de seguridad mediante el software Slide v6.0 mediante tres métodos se pudo observar que el talud era inestable y de alto riesgo.

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observación: FS > 1
4	74°	0,649	0,685	0,648	No cumple

Para evitar desprendimientos y mejorar la estabilidad del talud se propone la siguiente alternativa de solución:

Partiendo del resultado del FS es considerado un **talud inestable** donde la medida de actuación para estabilizar el talud según su FS fue de bajar la pendiente del talud a 45° y estabilizarlo con la malla MacMat® R1 - GalMac® 4R antierosiva de 8x10 de abertura y 2,7 mm de espesor, con una resistencia a tracción de 50 KN/m y pequeños anclajes cada 50 cm.

Gracias a estas medidas se obtuvieron los siguientes factores de seguridad:

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observación: FS > 1
4	45°	1,051	1,112	1,203	Cumple

4.3.4.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de dimensiones grandes y de una pendiente de 74°, al realizar la acción mencionada se logró bajar a una pendiente más estable que se aproxima al ángulo de fricción del talud dándonos un grado de seguridad aceptable garantizando el impedimento de algún deslizamiento, el sistema es de rápida ejecución.

Fotografía 4. 5 Movimiento de tierras



Fuente: Desnivel obras 2012

4.3.4.2 Sistema de estabilización mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R

Se eligió este sistema ya que su alta viabilidad técnica en la ejecución de taludes, la asociación de la geomanta y el refuerzo metálico, constituyen un geocompuesto, que permite que estos elementos trabajen juntos, confiriendo a la solución características de elevada capacidad anti-erosiva, con óptima resistencia a la tracción. Por esta razón, es indicada, para situaciones en las que existan taludes susceptibles a la erosión, con grandes alturas y pendientes muy empinadas, ya que, añade las ventajas de la geomanta a aquellas de un elemento de refuerzo, el costo es bajo y el sistema garantiza la seguridad con un costo de mantenimiento casi nulo y permite crecimiento de vegetación.

Fotografía 4. 6 Mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R



Fuente: Maccaferri

4.3.5 Talud N° 5 – Progresiva Km 12+080

Se observó que el talud presenta desprendimientos de una masa demasiado considerable que ocasionan obstrucción en parte en la vía, también produce derrame de sedimentos en las cunetas que ocasionan su obstrucción. El material que presencia dicho talud son mezclas de grava, arenas y arcillas sueltas.

Tras el estudio de campo y de un cálculo del factor de seguridad mediante el software Slide v5.0 mediante tres métodos se pudo observar que el talud era inestable y de alto riesgo.

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observación: FS > 1
5	77°	0,596	0,544	0,641	No cumple

Para evitar desprendimientos, sedimentos y mejorar la estabilidad del talud se propone la siguiente alternativa de solución:

Partiendo del resultado del FS es considerado un **talud inestable** donde la medida de actuación para estabilizar el talud según su FS fue de bajar la pendiente del talud a 51° y estabilizarlo con la malla MacMat® R1 - GalMac® 4R antierosiva de 8x10 de abertura y 2,7 mm de espesor, con una resistencia a tracción de 50 KN/m y pequeños anclajes cada 50 cm.

Gracias a estas medidas se obtuvieron los siguientes factores de seguridad:

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observación: FS > 1
5	51°	1,07	1,013	1,185	Cumple

4.3.5.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de dimensiones grandes y de una pendiente de 77°, al realizar la acción mencionada se logró bajar a una pendiente de 51° que se aproxima al ángulo de fricción del talud dándonos un grado de seguridad aceptable garantizando el impedimento de algún deslizamiento, el sistema es de rápida ejecución.

Fotografía 4. 7 Movimiento de tierras



Fuente: Desnivel obras 2012

4.3.5.2 Sistema de estabilización mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R

Se eligió este sistema ya que su alta viabilidad técnica en la ejecución de taludes, la asociación de la geomanta y el refuerzo metálico, constituyen un geocompuesto, que permite que estos elementos trabajen juntos, confiriendo a la solución características de elevada capacidad anti-erosiva, con óptima resistencia a la tracción. Por esta razón, es indicada, para situaciones en las que existan taludes susceptibles a la erosión, con grandes alturas y pendientes muy empinadas, ya que, añade las ventajas de la geomanta a aquellas de un elemento de refuerzo, el costo es bajo y el sistema garantiza la seguridad con un costo de mantenimiento casi nulo y permite crecimiento de vegetación.

Fotografía 4. 8 Mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R



Fuente: Maccaferri

4.3.6 Talud N° 6 – Progresiva Km 12+860

El talud presenta inestabilidades que se producen continuamente, obligando a un mantenimiento regular del talud, de las cunetas y de la propia calzada a causa de desprendimientos de material granular y sedimentos.

Tras el estudio de campo y de un cálculo del factor de seguridad mediante el software Slide v6.0 mediante tres métodos se pudo observar que el talud era inestable y de alto riesgo

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observación: FS > 1
6	72°	0,269	0,269	0,329	No cumple

Para evitar desprendimientos y mejorar la estabilidad del talud se propone la siguiente alternativa de solución:

Partiendo del resultado del FS es considerado un **talud inestable** donde la medida de actuación para estabilizar el talud según su FS fue de bajar la pendiente del mismo y bajar considerablemente la pendiente de la cabeza del talud mediante movimiento de tierras dando una pendiente de 53° y reforzarlo con mallas doble torsión GalMac® 4R de 8x10 de abertura y 3 mm de espesor, con una resistencia a tracción de 60 KN/m y pequeños anclajes cada 50 cm.

Gracias a estas medidas se obtuvieron los siguientes factores de seguridad:

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observación: FS > 1
6	56°	1,033	1,043	1,179	Cumple

4.3.6.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de dimensiones grandes y de una pendiente de 72°, al realizar la acción mencionada se logró bajar a una pendiente de 56° que se aproxima al ángulo de fricción del talud dándonos un grado de seguridad aceptable garantizando el impedimento de algún deslizamiento, el sistema es de rápida ejecución.

Fotografía 4. 9 Movimiento de tierras



Fuente: Desnivel obras 2012

4.3.6.2 Sistema de estabilización mallas doble torsión GalMac® 4R

Se eligió este sistema ya que su alta viabilidad técnica en la ejecución de taludes de gran altura garantiza la capacidad de controlar y evitar los desprendimientos de material granular, el costo es bajo y el sistema garantiza la seguridad con un costo de mantenimiento casi nulo.

Fotografía 4. 10 Mallas doble torsión GalMac® 4R



Fuente: Maccaferri

4.3.7 Talud N° 7 – Progresiva Km 15+320

Este talud a simple vista parecía que no presentaría un proceso de inestabilidad significativo pero al seguimiento continuo que se realizó en la zona se pudo constatar que sufre una inestabilidad significativa ya que en épocas de lluvia se desprendieron grandes cantidades de material granular y sedimentos en la calzada y cunetas que generan una superficie inestable para el tráfico que pasa por ese sector.

Tras el estudio de campo y de un cálculo del factor de seguridad mediante el software Slide v6.0 mediante tres métodos se pudo observar que el talud era inestable y de alto riesgo.

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observación: FS > 1
7	75°	0,514	0,514	0,518	No cumple

Para evitar desprendimientos, sedimentos y mejorar la estabilidad del talud se propone la siguiente alternativa de solución:

Partiendo del resultado del FS es considerado un **talud inestable** donde la medida de actuación para estabilizar el talud según su FS fue de bajar la pendiente del talud a 45° y estabilizarlo con la malla MacMat® R1 - GalMac® 4R antierosiva de 8x10 de abertura y 2,7 mm de espesor, con una resistencia a tracción de 50 KN/m y pequeños anclajes cada 50 cm.

Gracias a estas medidas se obtuvieron los siguientes factores de seguridad:

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observación: FS > 1
7	45°	1,059	1,107	1,267	Cumple

4.3.7.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de dimensiones grandes y de una pendiente de 75°, al realizar la acción mencionada se logró bajar a una pendiente de 45° que se aproxima al ángulo de fricción del talud dándonos un grado de seguridad aceptable garantizando el impedimento de algún deslizamiento, el sistema es de rápida ejecución.

Fotografía 4. 11 Movimiento de tierras



Fuente: Desnivel obras 2012

4.3.7.2 Sistema de estabilización mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R

Se eligió este sistema ya que su alta viabilidad técnica en la ejecución de taludes, la asociación de la geomanta y el refuerzo metálico, constituyen un geocompuesto, que permite que estos elementos trabajen juntos, confiriendo a la solución características de elevada capacidad anti-erosiva, con óptima resistencia a la tracción. Por esta razón, es indicada, para situaciones en las que existan taludes susceptibles a la erosión, con grandes alturas y pendientes muy empinadas, ya que, añade las ventajas de la geomanta a aquellas de un elemento de refuerzo, el costo es bajo y el sistema garantiza la seguridad con un costo de mantenimiento casi nulo y permite crecimiento de vegetación.

Fotografía 4. 12 Mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R



Fuente: Maccaferri

4.3.8 Talud N° 8 – Progresiva Km 16+480

En el presente talud se observó que sufre problema de inestabilidad evidente ya que constantemente cae material granular, material suelto a las cunetas y la calzada, donde en época de lluvia cae una gran masa de piedras y material suelto llenando toda la calzada causando el impedimento del paso de vehículos pequeños.

Tras el estudio de campo y de un cálculo del factor de seguridad mediante el software Slide v6.0 mediante tres métodos se pudo observar que el talud era inestable y de alto riesgo.

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observación: FS > 1
8	76°	0,345	0,345	0,366	No cumple

Para evitar desprendimientos y mejorar la estabilidad del talud se propone la siguiente alternativa de solución:

Partiendo del resultado del FS es considerado un **talud inestable** donde la medida de actuación para estabilizar el talud según su FS fue de bajar la pendiente del mismo y bajar considerablemente la pendiente de la cabeza del talud mediante movimiento de tierras dando una pendiente de 53° y reforzarlo con mallas doble torsión GalMac® 4R de 8x10 de abertura y 3mm de espesor, con una resistencia a tracción de 60 KN/m y pequeños anclajes cada 50 cm.

Gracias a estas medidas se obtuvieron los siguientes factores de seguridad:

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observación: FS > 1
8	53°	1,138	1,142	1,209	Cumple

4.3.8.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de dimensiones grandes y de una pendiente de 76°, al realizar la acción mencionada se logró bajar a una pendiente de 53° que se aproxima al ángulo de fricción del talud dándonos un grado de seguridad aceptable garantizando el impedimento de algún deslizamiento, el sistema es de rápida ejecución.

Fotografía 4. 13 Movimiento de tierras



Fuente: Desnivel obras 2012

4.3.8.2 Sistema de estabilización mallas doble torsión GalMac® 4R

Se eligió este sistema ya que su alta viabilidad técnica en la ejecución de taludes de gran altura garantiza la capacidad de controlar y evitar los desprendimientos de material granular, el costo es bajo y el sistema garantiza la seguridad con un costo de mantenimiento casi nulo.

Fotografía 4. 14 Mallas doble torsión GalMac® 4R



Fuente: Maccaferri

4.3.9 Talud N° 9 – Progresiva Km 18+960

El talud presenta caídas de material granular sobre la cuneta y en ocasiones a la calzada, donde el material que constituye el talud son gravas, arenas con poco fino que lo hacen un suelo no cohesivo que tiende a tener desprendimientos.

Tras el estudio de campo y de un cálculo del factor de seguridad mediante el software Slide v6.0 mediante tres métodos se pudo observar que el talud era inestable y de alto riesgo.

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern -Price	Observación: FS > 1
9	78°	0,260	0,259	0,309	No cumple

Para evitar desprendimientos y mejorar la estabilidad del talud se propone la siguiente alternativa de solución:

Partiendo del resultado del FS es considerado un **talud inestable** donde la medida de actuación para estabilizar el talud según su FS fue de bajar la pendiente del mismo y bajar considerablemente la pendiente de la cabeza del talud mediante movimiento de tierras dando una pendiente de 45° y reforzarlo con mallas doble torsión GalMac® 4R de 8x10 de abertura y 3mm de espesor, con una resistencia a tracción de 60 KN/m y pequeños anclajes cada 50 cm.

Gracias a estas medidas se obtuvieron los siguientes factores de seguridad:

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern -Price	Observación: FS > 1
9	45°	1,025	1,018	1,177	Cumple

4.3.9.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de dimensiones grandes y de una pendiente de 78°, al realizar la acción mencionada se logró bajar a una pendiente de 45° que se aproxima al ángulo de fricción del talud dándonos un grado de seguridad aceptable garantizando el impedimento de algún deslizamiento, el sistema es de rápida ejecución.

Fotografía 4. 15 Movimiento de tierras



Fuente: Desnivel obras 2012

4.3.9.2 Sistema de estabilización mallas doble torsión GalMac® 4R

Se eligió este sistema ya que su alta viabilidad técnica en la ejecución de taludes de gran altura garantiza la capacidad de controlar y evitar los desprendimientos de material granular, el costo es bajo y el sistema garantiza la seguridad con un costo de mantenimiento casi nulo.

Fotografía 4. 16 Mallas doble torsión GalMac® 4R



Fuente: Maccaferri

4.3.10 Talud N° 10 – Progresiva Km 19+907

Este talud es el de mayor altura encontrado en la zona de estudio, presenta caída de sedimentos en las cunetas que ocasiona estancamiento de agua en las mismas, también presenta signos de erosión lo que ocasiona desprendimientos que no son de gran tamaño pero que ocasionan molestias para los transeúntes ya que el talud está muy cerca del trazo de la vía.

Tras el estudio de campo y de un cálculo del factor de seguridad mediante el software Slide v6.0 mediante tres métodos se pudo observar que el talud era ligeramente inestable.

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observación: FS > 1
10	70°	0,526	0,528	0,541	No cumple

Para evitar desprendimientos y mejorar la estabilidad del talud se propone la siguiente alternativa de solución:

Partiendo del resultado la medida de actuación para estabilizar el talud según su F.S. fue el de bajar la pendiente del talud a 37° con el ensanchamiento de la banquina e implementar sistemas de mallas antierosivas MacMat® R3 sostenidas con pequeños anclajes desde el pie hasta la cabeza del talud con una cobertura del 100%, gracias a estas medidas se obtuvieron los siguientes factores de seguridad:

Talud N°	Ángulo	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	Observación: FS > 1
10	37°	1,073	1,183	1,336	CUMPLE

4.3.10.1 Sistema de estabilización mallas MacMat® R3

Se eligió este sistema ya que su alta viabilidad técnica en la ejecución de taludes es una geomanta antierosiva reforzada, fabricada a partir de filamentos poliméricos fundidos en todos los puntos de contacto. Presenta elevada flexibilidad, es tridimensional, presentado más de 90% de vacíos. Fue especialmente desarrollada para el control de la erosión

superficial en taludes y cursos de agua., el costo es bajo y el sistema garantiza la seguridad con un costo de mantenimiento casi nulo y permite crecimiento de vegetación.

Fotografía 4. 17 Mallas MacMat® R3



Fuente: Maccaferri

4.3.10.2 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de grandes dimensiones al realizar la acción mencionada generara un coste no muy elevado, se bajó la pendiente del talud a 37° y se mejoró la banquina para una mejor estabilidad del talud dándonos un grado de seguridad aceptable, el sistema es de rápida ejecución.

Fotografía 4. 18 Movimiento de tierras



Fuente: Desnivel obras 2012

La siguiente tabla es un resumen de los factores de seguridad obtenido con las alternativas dadas:

Tabla 4. 28 Factor de seguridad obtenido con las alternativas propuestas

Talud N°	Janbú	Fellenius	Morgenstern-Price	FS >1	Ángulo talud	Alternativa
1	1,046	1,064	1,179	Cumple	45°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras y se reforzó con mallas doble torsión GalMac® 4R.
2	1,090	1,104	1,153	Cumple	68°	Se reforzó con mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R antierosiva.
3	1,130	1,107	1,132	Cumple	74°	Se reforzó con mallas MacMat® R3 antierosiva.
4	1,051	1,112	1,203	Cumple	45°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras y se reforzó con mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R.
5	1,07	1,013	1,185	Cumple	51°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras y se reforzó con mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R.
6	1,033	1,043	1,179	Cumple	56°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras y se reforzó con mallas doble torsión GalMac® 4R.
7	1,059	1,107	1,267	Cumple	45°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras y se reforzó con mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R.
8	1,025	1,018	1,177	Cumple	53°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras y se reforzó con mallas doble torsión GalMac® 4R.
9	1,025	1,018	1,177	Cumple	45°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras y se reforzó con mallas doble torsión GalMac® 4R.
10	1,021	1,034	1,086	Cumple	37°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras y se reforzó con mallas MacMat® R3 antierosiva.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 29 Tipo de refuerzo para cada talud según tipo de suelos.

Alternativa	FS >1	Talud N°	Ángulo / h	Estrato	Clasif. AASHTO	Clasif. SUCS	
						Símbolo	Descripción
Mallas doble torsión GalMac® 4R.	Cumple	1	45°/16,57	Pie	A-1-a (0)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos.
				Cuerpo	A-1-a (0)	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.
				Cabeza	A-1-a (0)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos.
		6	56°/16,29	Pie	A-1-a (0)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos.
				Cuerpo	A-1-a (0)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos.
				Cabeza	A-1-a (0)	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.
		8	53°/7,07	Pie	A-1-a (0)	GP-GM	Grava mal graduada, mezcla de grava arenas y pocos limos.
				Cuerpo	A-1-a (0)	GP-GM	Grava mal graduada, mezcla de grava arenas y pocos limos.
				Cabeza	A-1-a (0)	GP-GM	Grava mal graduada, mezcla de grava arenas y pocos limos.
		9	45°/13,34	Pie	A-1-b (0)	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.
				Cuerpo	A-1-b (0)	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.
				Cabeza	A-1-b (0)	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.
Mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R anti erosiva.	Cumple	2	68°/7,33	Pie	A-4 (8)	ML	Limos inorgánicos, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
				Cuerpo	A-6 (4)	CL	Arcillas inorgánicas de mediana plasticidad, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
				Cabeza	A-1-a (0)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos.
		4	45°/9,27	Pie	A-7-5 (17)	MH	Limos inorgánicos, arenas finas o limos micáceos o de diatomeas limos elásticos
				Cuerpo	A-6 (10)	CL	Arcillas inorgánicas de media plasticidad, arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas.
				Cabeza	A-2-6 (0)	GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla.
		5	51°/10,91	Pie	A-2-6 (0)	GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla.
				Cuerpo	A-2-6 (0)	GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla.
				Cabeza	A-6 (9)	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
		7	45°/8,35	Pie	A-1-b (0)	GM	Gravas limosas, mezcla de grava arena y limo.
				Cuerpo	A-4 (5)	ML	Limos inorgánicos, polvo de rocas, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
				Cabeza	A-1-b (0)	GM	Gravas limosas, mezcla de grava arena y limo.

Mallas MacMat® R3 anti erosiva.	Cumple	3	74°/7,86	Pie	A-4 (7)	ML-OL	Arcillas limosas, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
				Cuerpo	A-4 (7)	CL	Arcillas inorgánicas de mediana plasticidad, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
				Cabeza	A-7-6 (12)	CL	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas arenosas, arcillas limosas
		10	37°/21,78	Pie	A-6 (10)	CL	Arcillas inorgánicas de mediana plasticidad, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
				Cuerpo	A-6 (10)	CL	Arcillas inorgánicas de mediana plasticidad, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
				Cabeza	A-4 (8)	ML	Arcillas limosas, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.

Fuente: Elaboración propia

4.4 ANÁLISIS DE COSTOS

Tabla 4. 30 Lista de ítems a utilizar en el proyecto

Ítem N°	Descripción	Unidad
1	Instalación de faenas	pza.
2	Letrero de obra	pza.
3	Movimiento de tierras	m ³
4	Malla doble torsión GalMac® 4R	m ²
5	Malla MacMat® R1 - GalMac®	m ²
6	Malla MacMat® R3	m ²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 31 Precio unitario por ítem

Ítem N°	Descripción	Unidad	P. U. Total
1	Instalación de faenas	pza.	2200,08
2	Letrero de obra	pza.	1001,41
3	Movimiento de tierras	m ³	18,24
4	Malla doble torsión GalMac® 4R	m ²	49,33
5	Malla MacMat® R1 - GalMac®	m ²	88,00
6	Malla MacMat® R3	m ²	67,17

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 32 Cómputos métricos por talud

Talud N° 1					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	Prog inicio	Prog fin
4	Malla doble torsión GalMac® 4R	m ²	5045,78	3+200	3+567
3	Movimiento de tierras	m ³	22760,28	3+200	3+567
Talud N° 2					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	Prog inicio	Prog fin
5	Malla MacMat® R1 - GalMac®	m ²	878,13	5+300	5+490
Talud N° 3					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	Prog inicio	Prog fin
6	Malla MacMat® R3	m ²	1483,25	5+820	6+023
Talud N° 4					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	Prog inicio	Prog fin
5	Malla MacMat® R1 - GalMac®	m ²	1809,91	7+880	8+132
3	Movimiento de tierras	m ³	2399,89	7+880	8+132
Talud N° 5					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	Prog inicio	Prog fin
4	Malla MacMat® R1 - GalMac®	m ²	3532,52	12+080	12+370
3	Movimiento de tierras	m ³	4555,92	12+080	12+370
Talud N° 6					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	Prog inicio	Prog fin
4	Malla doble torsión GalMac® 4R	m ²	2797,45	12+860	13+065
3	Movimiento de tierras	m ³	5128,61	12+860	13+065
Talud N° 7					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	Prog inicio	Prog fin
5	Malla MacMat® R1 - GalMac®	m ²	1225,11	15+320	15+495
3	Movimiento de tierras	m ³	2712,27	15+320	15+495
Talud N° 8					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	Prog inicio	Prog fin
4	Malla doble torsión GalMac® 4R	m ²	1602,13	16+480	16+707
3	Movimiento de tierras	m ³	3279,14	16+480	16+707
Talud N° 9					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	Prog inicio	Prog fin
4	Malla doble torsión GalMac® 4R	m ²	3613,63	18+960	19+344
5	Movimiento de tierras	m ³	6591,30	18+960	19+344
Talud N° 10					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	Prog inicio	Prog fin
6	Malla MacMat® R3	m ²	2105,81	19+907	20+000
3	Movimiento de tierras	m ³	13575,40	19+907	20+000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 33 Costos por cada talud

Talud N° 1					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	P.U. (Bs.)	Costo Total (Bs.)
4	Malla doble torsión GalMac® 4R	m ²	5045,78	49,33	664057,93
3	Movimiento de tierras	m ³	22760,28	18,24	
Talud N° 2					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	P.U. (Bs.)	Costo Total (Bs.)
5	Malla MacMat® R1 - GalMac®	m ²	878,13	88,00	77274,26
Talud N° 3					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	P.U. (Bs.)	Costo Total (Bs.)
6	Malla MacMat® R3	m ²	1483,25	67,17	99625,80
Talud N° 4					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	P.U. (Bs.)	Costo Total (Bs.)
5	Malla MacMat® R1 - GalMac®	m ²	1809,91	88,00	203044,07
3	Movimiento de tierras	m ³	2399,89	18,24	
Talud N° 5					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	P.U. (Bs.)	Costo Total
4	Malla MacMat® R1 - GalMac®	m ²	3532,52	88,00	393957,81
3	Movimiento de tierras	m ³	4555,92	18,24	
Talud N° 6					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	P.U. (Bs.)	Costo Total (Bs.)
4	Malla doble torsión GalMac® 4R	m ²	2797,45	49,33	231543,85
3	Movimiento de tierras	m ³	5128,61	18,24	
Talud N° 7					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	P.U. (Bs.)	Costo Total (Bs.)
5	Malla MacMat® R1 - GalMac®	m ²	1225,11	88,00	157280,33
3	Movimiento de tierras	m ³	2712,27	18,24	
Talud N° 8					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	P.U. (Bs.)	Costo Total (Bs.)
4	Malla doble torsión GalMac® 4R	m ²	1602,13	49,33	138844,53
3	Movimiento de tierras	m ³	3279,14	18,24	
Talud N° 9					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	P.U. (Bs.)	Costo Total (Bs.)
4	Malla doble torsión GalMac® 4R	m ²	3613,63	49,33	298485,42
5	Movimiento de tierras	m ³	6591,30	18,24	
Talud N° 10					
Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad	P.U. (Bs.)	Costo Total (Bs.)
6	Malla MacMat® R3	m ²	2105,81	1013,48	389059,25
3	Movimiento de tierras	m ³	13575,40	18,24	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 34 Cómputos métricos por cada ítem

Ítem N°	Material	Unidad	Cantidad
1	Instalación de faenas	pza.	1,00
2	Letrero de obra	pza.	1,00
3	Movimiento de tierras	m ³	61002,81
4	Malla doble torsión GalMac® 4R	m ²	13058,99
5	Malla MacMat® R1 - GalMac®	m ²	7445,67
6	Malla MacMat® R3	m ²	3589,06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 35 Presupuesto general

Ítem N°	Descripción	Unidad	Cantidad	P. U. Total	Costo P/Ítem
1	Instalación de faenas	pza.	1,00	2200,08	2200,08
2	Letrero de obra	pza.	1,00	1001,41	1001,41
3	Movimiento de tierras	m ³	61002,81	18,24	1112702,36
4	Malla doble torsión GalMac® 4R	m ²	13058,99	49,33	644194,69
5	Malla MacMat® R1 - GalMac®	m ²	7445,67	88,00	655208,94
6	Malla MacMat® R3	m ²	3589,06	67,17	241067,32

Costo total Bs. =	2656374,78
Costo total en \$us. =	397066,48

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se obtuvo el factor de seguridad con los métodos Janbú, Fellenius y Morgenstern-Price de manera satisfactoria.
- El método Morgenstern-Price es el más exacto debido a que considera todas las fuerzas actuantes sobre las dovelas tanto horizontales como verticales.
- Se pudo evidenciar que la geometría de los taludes no cumple con la norma y presentan una inclinación casi vertical al pie de la calzada que no es la más adecuada para los diferentes materiales que los componen, ya que los resultados obtenidos por los tres métodos de análisis nos dio factores de seguridad muy bajos (menores a 1) con características que van desde lo inestable hasta muy inestable; producto de esto se vio obligado a realizar diferentes alternativas para que dicho factor de seguridad mejore y por ende los taludes sean estables, garantizando una solución técnica - económica adecuada logrando resultados satisfactorios.
- Existe pequeñas diferencias entre los resultados del factor de seguridad obtenidos manualmente y los resultados del software Slide v6.0, esto debido a que el método manual toma un promedio de los datos obtenidos en laboratorio para cada talud.
- El ángulo adecuado de un talud depende mucho de su altura y características de los materiales que lo componen para poder garantizar su estabilidad.

5.2 RECOMENDACIONES

De acuerdo a lo expuesto en el presente trabajo de grado y por los antecedentes que ocurrieron en el tramo estudiado, se recomienda evaluar las siguientes recomendaciones:

- Actuar lo más antes posible con las alternativas técnicas de solución propuestas en el presente trabajo de grado para la estabilidad de los taludes estudiados, de esta manera evitar que se produzca inconvenientes en el tramo de estudio.
- Debido a la presencia de lluvias constantes, se recomienda de forma preventiva establecer mejoras en los controles de drenajes superficiales en los taludes, reduciendo así las posibilidades de otros movimientos de masa generados por este medio.
- Como medida preventiva óptima en fase de planificación de nuevos proyectos en vías de comunicación se recomienda la realización de un adecuado estudio y la adopción de las medidas correctoras idóneas para cada talud que se forme en función de su geometría y composición litológica que condicionan los mecanismos de inestabilidad del talud.
- Se recomienda el uso de un software para el cálculo de estabilidad de un talud, debido a que este considera todas las características del mismo como ser altura, inclinación, diferentes estratos, nivel freático, perfil del talud, todas las fuerzas actuantes en la dovela, etc.