

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 puedan 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, y aunque quizás su utilización, en el sentido expresado, no sea totalmente correcta sí, ha resultado útil. 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, sus 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.

Académicamente será un aporte importante en la temática que no es desarrollada ampliamente dentro de la carrera, complementará los conocimientos sobre taludes de vías de comunicación y algunas de las alternativas de refuerzo para evitar los riesgos de deslizamientos o desprendimientos de material en los taludes.

Finalmente se puede evidenciar poniendo en práctica la metodología planteada para la determinación de riesgos de amenaza en taludes, de manera que se demuestre la vialidad de su aplicación en nuestro medio.

1.3 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El problema que se presenta en las carreteras sobre todo en regiones montañosas, es que las áreas adyacentes donde están formados los taludes, dependiendo de las características de los materiales que la componen, tienen un comportamiento que en varios casos producen deslizamientos y desprendimientos que 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 las carreteras 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, lo que en suma presentan un problema en el país, por ello es

importante buscar alternativas de refuerzo que le den estabilidad a los taludes de carreteras y minimicen los riesgos.

1.4 HIPÓTESIS

Los taludes de carreteras están con la posibilidad de sufrir deslizamientos y desprendimientos de materiales, por lo que las alternativas de protección son necesarias, de acuerdo al riesgo le corresponde un determinado refuerzo, por ello “cuando el riesgo es mayor más consistente debe ser el refuerzo y cuanto menor es el riesgo menos consistente podrá ser el refuerzo”

1.5 OBJETIVOS

Los objetivos del estudio son los siguientes:

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

“Analizar la metodología que permita establecer el riesgo de amenaza de taludes de carretera objeto de estudio ubicados en el tramo Padcaya - La Merced y las alternativas de refuerzo de mallas de acero y hormigón lanzado que tengan una mejor relación con el riesgo”

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las características generales de taludes de carretera para obtener los elementos necesarios sobre los mismos para desarrollar el trabajo.
- Establecer los procedimientos de determinación de riesgo en taludes, de acuerdo a metodologías ya establecidas para tal efecto, de manera que podamos aplicar en el estudio.
- Evaluar las alternativas de protección superficial de mallas de acero y hormigón lanzado en taludes de carretera y su aplicabilidad en el medio.

- Realizar ensayos de caracterización de los materiales de los taludes en estudio para establecer las características propias del material constituyente de cada talud.
- Establecer los precios unitarios referenciales de los refuerzos de mallas de acero de alta resistencia y hormigón lanzado.
- Establecer las conclusiones y recomendaciones acerca del trabajo desarrollado.

1.6 ALCANCE DEL ESTUDIO

Con este estudio se pretende identificar los taludes existentes en el tramo Padcaya - La Merced ubicado en la Provincia Arce del Departamento de Tarija, considerar las alternativas para la protección de los Taludes con mallas de acero de alta resistencia y hormigón lanzado, en aquellos que presentan problemas de erosión, como así también conocer cuales podrían ser las ventajas de aplicar las diferentes protecciones estudiadas.

Para realizar este trabajo inicialmente realizamos una recopilación de bibliografía referida al tema que pueda sustentar el marco teórico tanto en los conocimientos generales de los taludes en carreteras, sus características, propiedades, composición y geometría, como también en los aspectos específicos como son: la estabilidad de los taludes, los riesgos de inestabilidad, los posibles tipos de protección y específicamente la utilización de la protección con mallas de acero de alta resistencia y hormigón lanzado.

Se tiene un capítulo de introducción donde se establecen las bases del trabajo, es decir, desde los antecedentes del tema, la justificación de la realización del presente trabajo en base a la importancia que puede tener en la región la profundización de este tema, la hipótesis básica del estudio a partir de la cual se desarrollará el trabajo, los objetivos generales como específicos que permitirán lograr la meta del presente trabajo y la metodología de procedimiento que se desarrolló para cumplir el objetivo.

Luego, desarrollamos parte del marco teórico de carácter general en la que se tocaron los temas necesarios desde el punto de vista teórico que permiten mejorar el tema, así es que se desarrollaron las propiedades y características de los taludes en general, sus componentes y su comportamiento. Será parte de este acápite todo lo referente a factores que influyen en la estabilidad de los taludes, sus componentes y los principales métodos de análisis para determinar la estabilidad de taludes.

La segunda parte del marco teórico es de carácter específico en la que expandimos los dos temas centrales del estudio que son los tipos de protección de taludes, sus características, ventajas y desventajas, apropiación de sus usos, condiciones de ejecución, de cada uno de los tipos de protección de taludes de manera que se tenga un amplio espectro de estas tipologías que permitan establecer claramente la conveniencia de su utilización en cada caso y su relación con el conjunto de la carretera. El segundo tema de carácter específico es el análisis de riesgos en taludes para lo cual se impulsa toda la metodología ya establecida, para este fin por diferentes autores de manera que se tenga claro el procedimiento metodológico que se debe seguir para definir los riesgos en taludes.

En base a lo tratado en el marco teórico general y específico se plantea la aplicación práctica que se desarrolló en el tramo Padcaya – La Merced en cuyo tramo definiremos tres taludes que tienen tendencia de desprendimientos y deslizamientos, en los que en primer lugar estableceremos sus características físico-mecánicas de los materiales que componen cada talud, estableceremos sus características geométricas, procederemos a estudiar sus grados de riesgo que tiene cada talud, plantearemos las posibles protecciones con los tipos de mallas de acero de alta resistencia y hormigón lanzado, luego realizado un análisis de la relación de riesgo vs tipo de protección de manera que obtener la conveniencia de utilizar una u otra protección en el talud de estudio con el propósito de lograr un menor riesgo sin dejar de lado lo económico. Estableceremos las características de ambos tipos de protección con las propiedades de los materiales, su forma de utilizar en cada talud, su dimensionamiento y sus ventajas.

Después de haber identificado los taludes de estudio se realizaron los ensayos que caracterizan al material que compone los taludes, de manera que se identificaron los tipos de suelo que componen los taludes de estudio, asimismo se realizaron estudios de edometría si los materiales que se tienen en el talud son arcillosos, para determinar el ángulo de fricción y su cohesión. (Estos ensayos se realizaron en otro laboratorio fuera de la Universidad)

Es importante determinar la viabilidad de la aplicación de los refuerzos en estudio, por ello, se realizará un análisis de costos de manera que se llegue a los precios unitarios de aplicación en la zona de estudio.

Finalmente, en base al análisis de los resultados que se obtengan en la aplicación en los tres taludes con alto riesgo, plantaremos conclusiones y recomendaciones relacionadas con el tema estudiado.

1.7 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Este estudio para cumplir con los objetivos planteados seguirá la siguiente metodología.

Para desarrollar el tema en sí se hace necesario estudiar y analizar los conocimientos referidos al tema de la protección de taludes de carretera y en forma específica, las alternativas de protección y su relación con el riesgo que representa cada una de las protecciones de taludes, particularmente, de las mallas de acero de alta resistencia y el hormigón lanzado.

Luego se realizará un análisis descriptivo de las formas de protección de taludes con mallas de acero de alta resistencia y hormigón lanzado, sus características, procesos y aplicaciones en los taludes de carreteras en nuestro medio.

Posteriormente se describirán las alternativas de protección en los taludes de carreteras que tengan el problema de deslizamientos, haciendo referencia a su posible aplicabilidad en nuestro medio tanto técnicamente como por el factor económico.

Finalmente, ese marco teórico descrito en los capítulos anteriores, será ampliado en forma práctica en el tramo de estudio Padcaya – La Merced aplicando los métodos de cálculo estudiados, analizando las alternativas de protección descritas y llegando a definir cuales serán las condiciones de riesgos, para establecer conclusiones y recomendaciones de este estudio.

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS TALUDES

2.1 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).

Se comprende bajo el nombre genérico de taludes cualesquiera superficie inclinada respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra, bien sea en forma natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería.

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.

El diseño de taludes es uno de los aspectos más importantes de la ingeniería geológica, pues está presente en la mayoría de las actividades constructivas o extractivas.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS TALUDES

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 esta 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.

2.3 PROPIEDADES DE LOS TALUDES

2.3.1 Cohesión

La cohesión del suelo se refiere a la capacidad que tienen las partículas del suelo de permanecer unidas como conjunto, como resultado de la trabazón conjunta o las microestructuras existentes en el suelo como ser: la textura, tamaño, composición mineralógica de las partículas y el contenido de agua del suelo.

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.

La cohesión es la atracción entre partículas de suelo, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por lo tanto, la cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad. La cohesión se mide kg/cm^2 . Los suelos arcillosos tienen cohesión alta de $0,50 \text{ kg/cm}^2$ a 1.5 kg/cm^2 , o más. Los suelos limosos tienen muy poca, y en las arenas la cohesión es prácticamente nula.

2.3.2 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.

Los valores de este ángulo llamado "ángulo de fricción interna, varían de prácticamente 0° para arcillas plásticas, cuya consistencia esté próxima a su límite líquido, hasta 45° o más, para gravas y arenas secas, compactas y de partículas angulares. Generalmente, el ángulo f para arenas es alrededor de 30° .

2.3.3 Presión de poros

Es la presión del agua que llena los espacios vacíos de sólidos. 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, que actúa en un suelo, es la suma de la presión transmitida a las partículas (esqueleto del suelo) y aquella transmitida a través del agua, que se halla en los poros del suelo, que se denomina presión de poros.

Cuando un suelo esta sometido a presiones, solamente el esqueleto del suelo opone resistencia a su deformación. El agua como es incompresible y no tiene resistencia al corte, no se opone a la deformación, es "neutra"; de ahí que a la presión de poros se la llama también "presión neutra" y a la presión ínter granular se la denomina "presión efectiva", pues esta última es la presión real que se opone a la deformación y posterior falla de un suelo.

2.4 ESTABILIDAD

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.

Equilibrio limite y factor de seguridad

El análisis de los movimientos de los taludes o laderas durante muchos años se ha realizado utilizando las técnicas del equilibrio límite. Este tipo de análisis requiere

información sobre la resistencia del suelo, pero no se requiere sobre la relación esfuerzo-deformación.

El Factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cual es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para 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. (Tabla 2.7).

Tabla 2.1 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: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

2.5 COMPONENTES DE LOS TALUDES

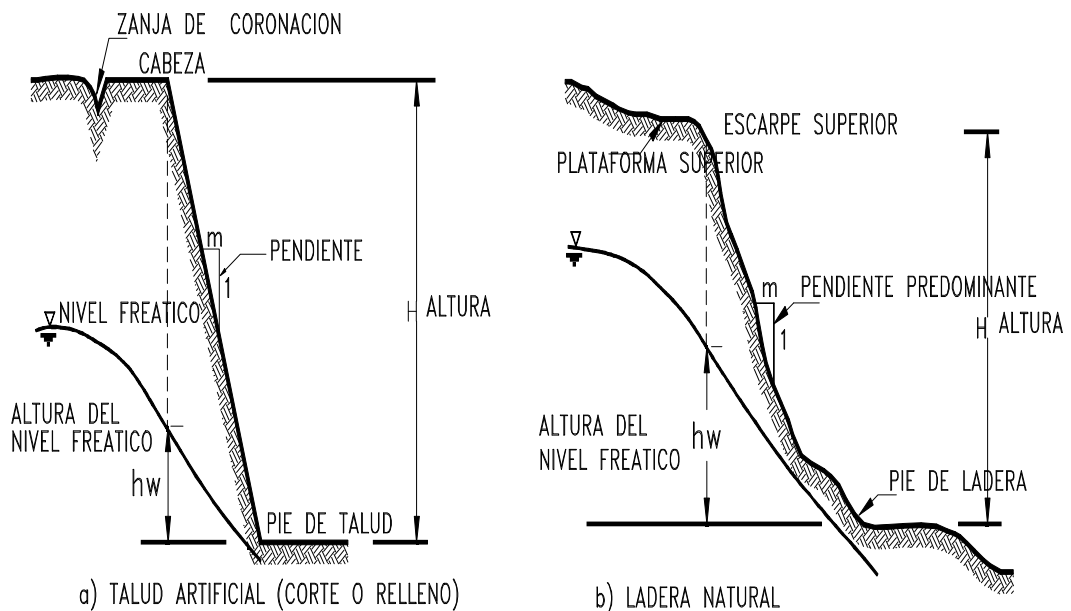
Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente.

Los taludes se dividen en naturales (laderas) o artificiales (cortes y terraplenes).

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.- Son estructuras diseñadas y construidas por el hombre y lo conforman los cortes y terraplenes.

Figura 2.1 Nomenclatura de taludes y laderas



Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

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.

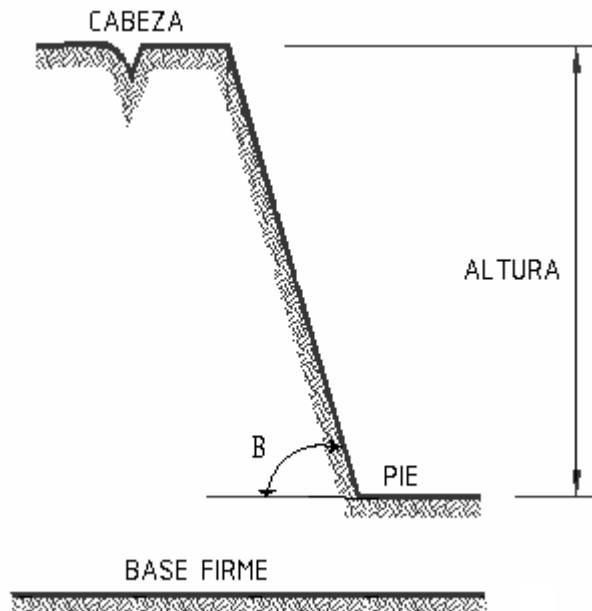
Cabeza o escarpe.-Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

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

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

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 2.2 Inclinación de un talud



Fuente: Germán, Cujar Chamorro. Estabilidad de Taludes. Universidad del Cauca.

Instituto de Postgrado en Ingeniería Civil. Popayán Colombia

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.

2.6 FACTORES 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 factores que determinan la estabilidad, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- a. Geológicos
- b. Hidrológicos
- c. Topográficos
- d. Vegetación
- e. Sobrecargas
- f. Impactos y vibraciones

a. Factores 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.

b. Factores Hidrológicos

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.

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.

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 subsuperficiales y subterráneos, además aumenta la saturación de materiales.

c. Factores topográficos

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.

d. La vegetación

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.

e. 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.

f. Impactos y vibraciones

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 debidos a oscilaciones de diferente frecuencia.

2.7 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 fuera 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:

- a.** Deslizamientos Ligados a la Estabilidad de las Laderas Naturales.
- b.** Deslizamientos Relacionados a la Estabilidad de Taludes Artificiales.
- c.** Derrumbes y Caídas.
- d.** Deslizamientos no Directamente Asociados a la Resistencia al Esfuerzo Cortante de los Suelos.

a. Deslizamientos Ligados a la Estabilidad de las Laderas Naturales

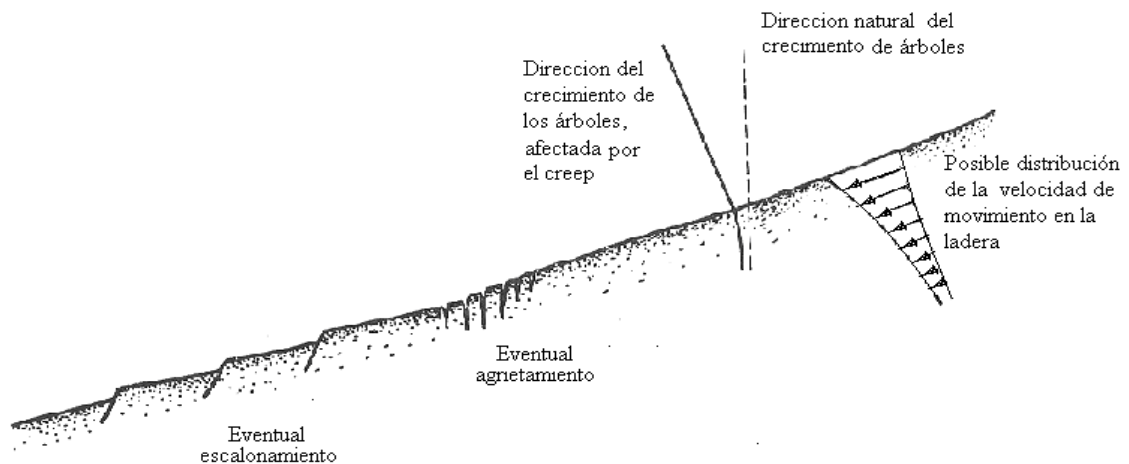
a.1 Deslizamiento Superficial (Creep)

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 (Fig.2.3), el estacional, que afecta sólo 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, sólo se puede atribuir al efecto gravitacional.

Figura 2.3 Signos de Deslizamiento Superficial o Creep



Fuente: Germán, Cujar Chamorro. Estabilidad de Taludes. Universidad del Cauca.

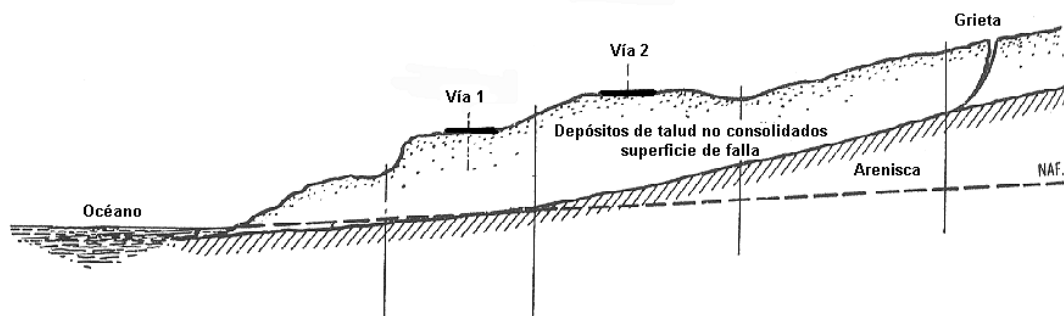
Instituto de Postgrado en Ingeniería Civil. Popayán Colombia

a.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 2.4 muestra una falla real del tipo descrito.

Figura 2.4 Falla Descrita en una Ladera Natural



Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

a.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.

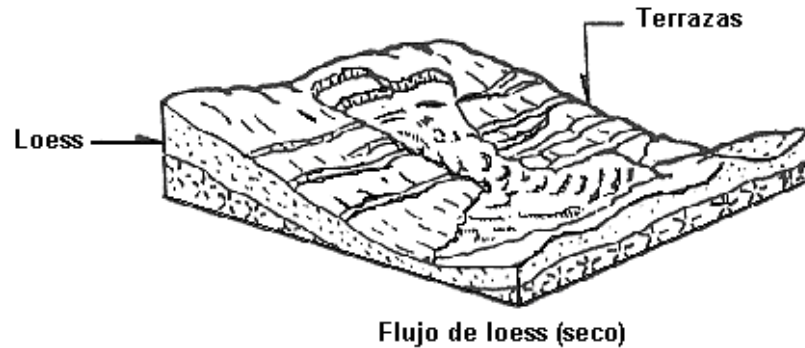
El material susceptible de fluir puede ser cualquier formación no consolidada, y así el fenómeno puede presentarse en fragmentos de roca, depósitos de talud, suelos granulares finos o arcillas francas, son frecuentes los flujos de lodo.

a.3.1 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 2.5 Flujo en Materiales Secos

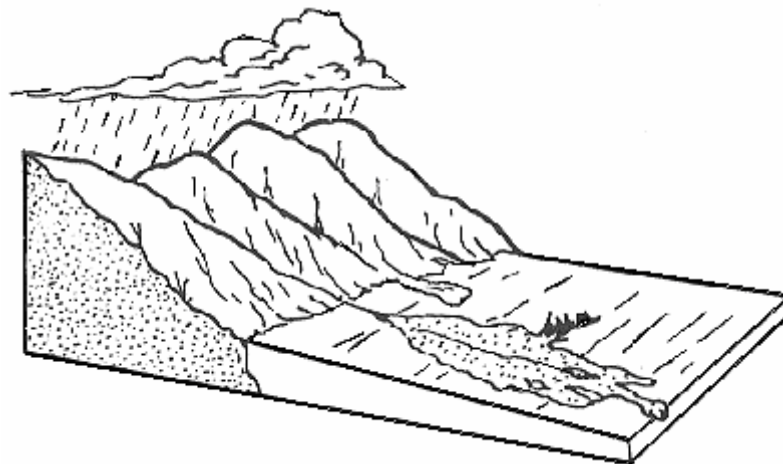


Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

a.3.2 Flujo en Materiales Húmedos. Flujos de Lodos

Son flujos que requieren una proporción apreciable de agua contenida en el suelo, la cuál 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 2.6 Flujo en Materiales Húmedos



Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

b. Deslizamientos Relacionados a la Estabilidad de Taludes Artificiales

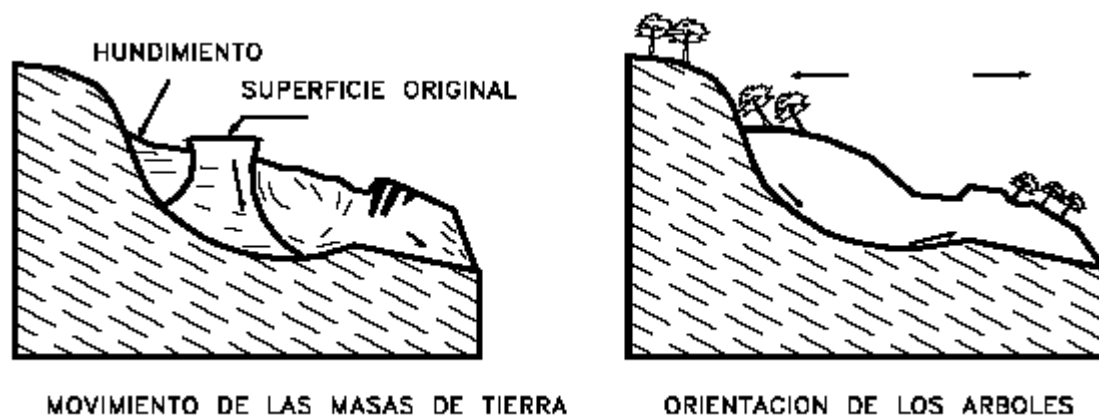
b.1 Deslizamiento Rotacional

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 2.7 Deslizamiento rotacional típico



Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

b.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 2.8 Deslizamiento Traslacional



Fuente: Germán, Cujar Chamorro. Estabilidad de Taludes. Universidad del Cauca.
Instituto de Postgrado en Ingeniería Civil. Popayán Colombia

c. 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.

d. Deslizamientos no Directamente Asociados a la Resistencia al Esfuerzo Cortante de los Suelos

Se desea tratar en este apartado tres tipos especiales de fallas, cuyo mecanismo no depende casi exclusivamente, de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.

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 sólo 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.

PROTECCIÓN DE TALUDES

3.1 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 geomecánicas 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.

3.2 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
- Geotextiles
- Obras de drenaje superficial

3.3 PROTECCIÓN CON HORMIGÓN LANZADO

3.3.1 Definición

Se define como mortero u hormigón transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a gran velocidad sobre una superficie.

La fuerza del chorro, que produce un impacto sobre la superficie, compacta el material, normalmente el material fresco colocado tiene un revenimiento cero y puede sostenerse por si mismo sin escurrirse.

Es la creación de una película proyectando hormigón contra el frente; esta película tendrá el espesor que se desee, de manera que evita la alteración de la superficie del terreno.

El hormigón lanzado es un tratamiento superficial resistente, esta formado por una mezcla de cemento Pórtland, agregados pétreos, agua y aditivos en algunas ocasiones, que mediante la fuerza controlada de aire a presión a través de una boquilla, se proyecta sobre una superficie a fin de obtener una capa de recubrimiento compacta, homogénea y resistente, para proteger superficies de roca o suelo contra la erosión e intemperismo, proveer soporte temporal o definitivo de una excavación y proteger zonas con alto fracturamiento o alteración(Fotografía 3.1).

Fotografía 3.1 Protección de talud con hormigón lanzado



El agua de la mezcla se puede incorporar en el momento del mezclado de los agregados pétreos con el cemento Portland y el aditivo, o bien, se puede mezclar estos materiales en seco, incorporándole directamente el agua en la boquilla al momento de la colocación del hormigón lanzado.

El uso del concreto lanzado u hormigón proyectado se encuentra en continuo crecimiento en todo el mundo gracias al avance logrado en el desarrollo de equipos y en el campo de los materiales.

3.3.2 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 presforzados, 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.

3.3.3 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.

La relación agua/cemento para el hormigón lanzado en el lugar, está compuesta entre 0.35 a 0.50 por peso, que es más baja que la mayoría de los valores para las mezclas convencionales de hormigón. En general, las propiedades físicas del hormigón lanzado, son comparables con aquellas del hormigón convencional de la misma composición. Los valores más reportados para las resistencias a los 28 días están dentro de los límites de 20 a 50 N/mm², pero frecuentemente se han obtenido valores superiores a 70 N/mm².

Se han especificado resistencias mínimas de 28 N/mm² para obras de ingeniería controladas. Resistencias más elevadas solamente han sido obtenidas con el uso de equipo de hormigón lanzado a alta velocidad.

Una mezcla diseñada para colocarse por métodos tradicionales puede mostrar hasta un incremento de aproximadamente 30 por ciento en resistencia si se aplica como hormigón lanzado, esto es debido a que se logra una mejor compactación y al empleo de una relación agua/cemento más baja.

La contracción por secado depende de las proporciones de mezcla empleadas, pero generalmente, se encuentran dentro del rango de 0.06 hasta 0.10 por ciento.

En columnas, vigas, pisos y muros de cargas, el hormigón lanzado puede reemplazar por completo la capacidad estructural de áreas defectuosas o dañadas, siempre que las áreas dañadas se eliminen hasta encontrar el material sano, antes de aplicar el hormigón lanzado.

3.3.4 Materiales

Cemento

El Cemento Pórtland 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 5mm 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.

3.3.5 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 3.2).

Fotografía 3.2 Limpieza de talud con aire comprimido



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 3.3).

Fotografía 3.3 Aplicación de hormigón lanzado



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.

Antes de ejecutar una nueva camada de hormigón lanzado se deberá ejecutar la limpieza y la remoción de contaminación de la camada anterior, utilizando chorro de agua a presión.

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.

3.4 PROTECCIÓN CON MALLAS DE ACERO

3.4.1 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 por que 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.

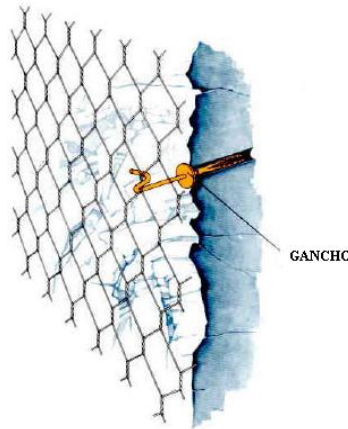
3.4.2 Usos generales de mallas de acero de alta resistencia

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 0.6-1m 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 3.1)

Figura 3.1 Estabilización usando ganchos en la malla.



Fuente: Folleto Maccaferri

- 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.

3.4.3 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 (y no soldada) acompaña fácilmente la conformación de la superficie del talud (Fotografía 3.4).

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

Fotografía 3.4 Protección con malla.



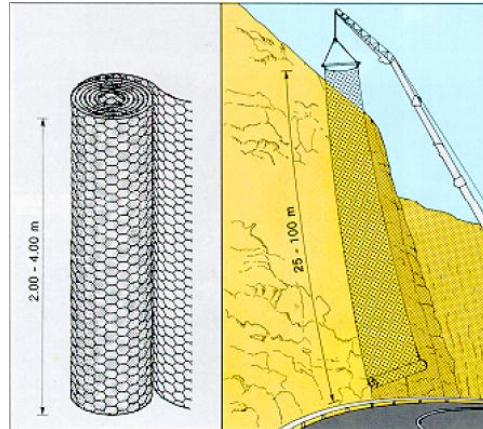
Fuente: Folleto Maccaferri

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.

Entre las ventajas más sobresalientes de las mallas de acero de alta resistencia usadas para la estabilidad de los caídos es el bajo costo de instalación, dependiendo del tamaño del rollo de malla (Figura 3.2). Se puede decir también que actúa como revestimiento y favorece la recomposición ambiental.

Figura 3.2 Instalación de mallas en caídos



Fuente: Folleto Maccaferri.

Es un sistema que otorga una protección inmediata al suelo. Por la sencillez en la colocación, sólo 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 3.5 Estabilización con mallas



Fuente: Folleto Maccaferri

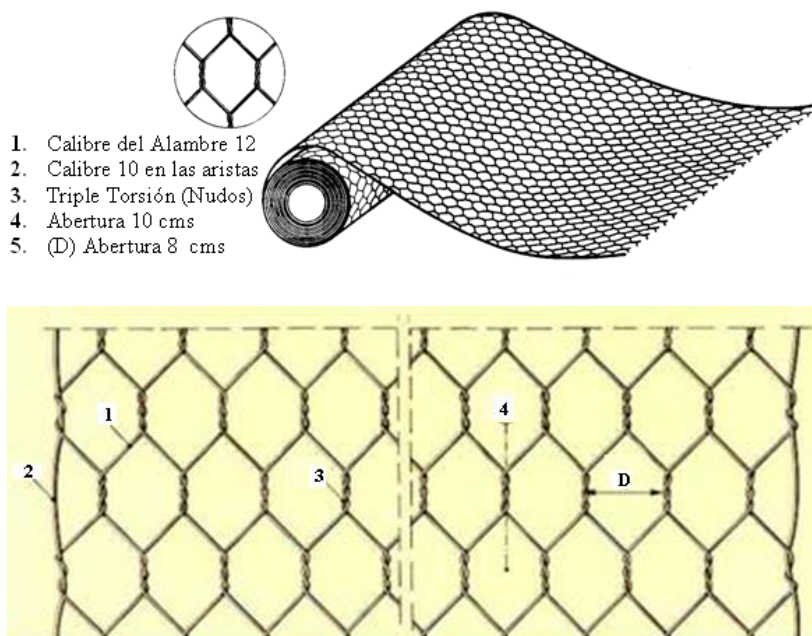
3.4.4 Especificaciones de malla metálica de triple torsión

La malla de acero de alta resistencia no se deshilvana, esta 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 3.3).

Todo el alambre usado en la fabricación de la malla para éstas 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 3.3 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 u 6 x 8 cm., el diámetro de alambre de la malla esta entre 2.2 y 3.4 mm dependiendo de la abertura de la malla, esta fuertemente galvanizada y reforzado en las aristas. El alambre para amarre normalmente mas utilizado para unir las mallas debe ser de 2.2 mm de diámetro.

Tabla 3.1 Especificaciones de la malla para control de caídos

III.- MALLA HEXAGONAL GALVANIZADA O RECUBIERTA CON P.V.C.		
ESPECIFICACIONES:		
ESCUADRIA	8 X 10 cm.	6 x 8 cm.
TIPO	TRIPLE TORSIÒN	TRIPLE TORSIÒN
DIÁMETRO 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

3.4.5 Procedimiento constructivo para colocación de malla

La malla metálica de triple torsión se instalará en el lugar, con las características y dimensiones fijadas en el proyecto. Las anclas estabilizadoras se construirán en el lugar, con las dimensiones y características fijadas en el proyecto

Generalmente para la colocación de la malla de acero de alta resistencia se tiene que seguir el siguiente procedimiento constructivo:

- a. Para la instalación de la malla se deberán realizar trabajos de limpieza que regularicen el talud para obtener un superficie uniforme, a fin de garantizar que no subsista material suelto en la superficie del talud, posteriormente se mide la altura del corte requerido y se cortan las mallas con el largo necesario. En caso de que la longitud del rollo no sea suficiente, fije un segundo rollo, con un traslape de 30 cm.
- b. Una vez cortada la malla, esta es colocada sobre el corte. Colocada la malla, se fijan las anclas en la parte superior del corte que son barras de acero.
- c. Concluido el anclaje lo que se hace, generalmente, es colocar el rollo de malla en la parte de la corona del talud, se desenrolla el mismo sobre el talud, o bien, en algunos

casos por la falta de espacio en la parte de la corona lo que se hace es jalar hacia arriba con unos lasos de plástico.

d. A continuación se procede a la unión de la malla, unas con otras, mediante el cosido con alambre de amarre. Posteriormente, se procede a la colocación de anclas en la parte inferior del talud, colocando, generalmente, barras de acero con en cual se tensara la malla para evitar bolsas de material.

En la colocación de la malla se deberá considerar todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos, tomando en cuenta todas las providencias que sean necesarias para prevenir y evitar accidentes, garantizando la seguridad de los trabajadores.

Es muy difícil formular una regla general sobre las modalidades de tal operación, pues según las condiciones y la morfología del terreno, se tienen que adoptar diversos sistemas.

3.4.6 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 3.6)

Fotografía 3.6 Colocación de Anclas en “T “

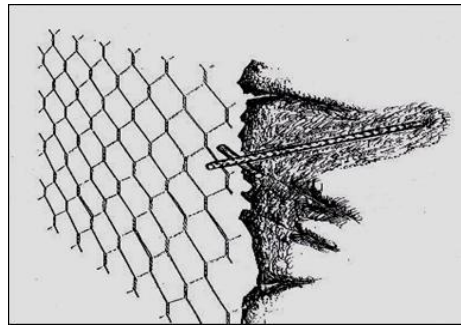


Fuente: Folleto Protección contra caídos Maccaferri

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.

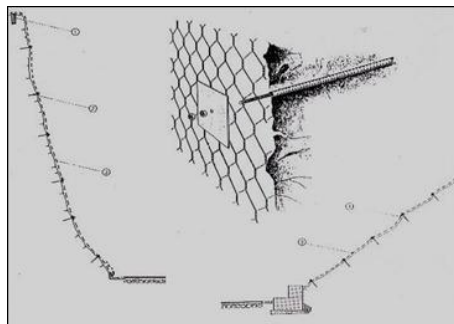
Hay varios tipos de anclaje que se usan para la parte superior del talud, entre los más usados para fijar las mallas de acero de alta resistencia son las varillas en forma de “T” o con placas de acero colocadas a una profundidad de un metro y posteriormente ahogadas con mortero-cemento-arena.

Figura 3.4 Anclaje con varillas en forma de “T”



Fuente: Folleto Maccaferri

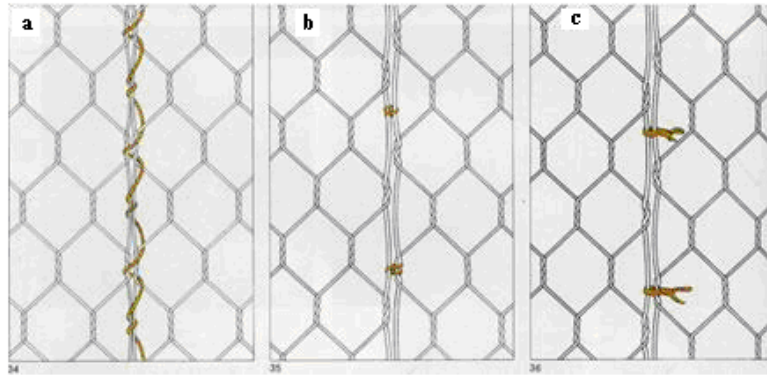
Figura 3.5 Anclaje con placa de acero



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 si usando alambre de amarre.

Figura 3.6: Tipos de amarre



Fuente: Folleto Presentación de estabilización Maccaferri

a. Amarre continuo (Espiral)

b. Amarre mecánico

c. Amarre de moño

ANÁLISIS DE RIESGO EN TALUDES

4.1 DEFINICIONES

El IUGS (1997) definió una serie de términos para la utilización en el análisis cuantitativo de amenaza y riesgo para taludes y deslizamientos los cuales se indican a continuación:

Riesgo.-Es una medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, la salud, la propiedad o el ambiente. Se mide en vidas humanas y propiedades en riesgo.

Peligro.-El deslizamiento geoméricamente y mecánicamente caracterizado se le define como peligro.

Amenaza.-Una condición con el potencial de causar una consecuencia indeseable. Una descripción de amenaza a deslizamientos debe incluir las características de los deslizamientos, incluyendo el volumen o áreas de los movimientos y su probabilidad de ocurrencia.

Alternativamente la amenaza es la probabilidad de que ocurra un deslizamiento particular en un determinado tiempo.

Probabilidad.-La posibilidad de un resultado específico medido como la relación de los resultados específicos sobre el número total posible de resultados. La probabilidad se expresa como un número entre 0 y 1 indicando con 0 la imposibilidad de ocurrencia y con 1 la certeza.

Vulnerabilidad.-El grado de probabilidad de pérdida de un determinado elemento o grupo de elementos dentro del área afectada por el deslizamiento. Se expresa en una escala de 0 (no pérdida) a 1 (pérdida total).

Análisis de Riesgo.-El uso de la información disponible para estimar el riesgo a individuos o población, propiedades o el ambiente debido a las amenazas.

Valoración del Riesgo.-El proceso del análisis de riesgo y evaluación de riesgo.

Estimación del Riesgo.-El proceso utilizado para producir una medida del nivel de riesgos de salud, propiedad o ambiente que son analizados. La estimación del riesgo incluye las siguientes etapas: análisis de frecuencia, análisis de consecuencia y su integración.

Evaluación del Riesgo.-La etapa a la cual los juicios y valores entran en el proceso de decisiones, explícita o implícitamente, incluyendo consideraciones de la importancia de los riesgos estimados y las consecuencias sociales, ambientales y económicas asociadas, con el propósito de identificar un rango de alternativas para el manejo de los riesgos.

Manejo de Riesgo.-El proceso completo de evaluación del riesgo y control de riesgo.

Riesgo aceptable.-Un riesgo para el cual, para los propósitos de vida o trabajo nosotros estamos preparados a aceptar tal como es, sin preocupación de su manejo. La sociedad no considera justificable realizar gastos para reducir esos riesgos.

4.2 FACTORES DE RIESGO

Para el análisis cuantitativo del deslizamiento hay cuatro factores:

- Susceptibilidad
- Amenaza
- Vulnerabilidad
- Riesgo

4.3 SUSCEPTIBILIDAD DEL RIESGO EN TALUDES

La susceptibilidad, generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como una lluvia o un sismo no se considera en un análisis de susceptibilidad.

4.3.1 SUSCEPTIBILIDAD POR LLUVIAS

Para la valoración de la susceptibilidad por lluvias se tiene la tabla 4.1 propuesta por el Comité Técnico Asiático en Geotecnología para riesgos naturales en ISSMFE, 1997.

Tabla 4.1 Valoración de factores para evaluación de susceptibilidad a deslizamiento debida a lluvia

Factor	Característica	Peso
Altura del Talud	$\geq 10\text{m}$	7
	$< 10\text{m}$	3
Inclinación del Talud	$\geq 45^\circ$	1
	$< 45^\circ$	0
Salientes topográficas (overhangs)	Presentes	3
	Ausentes	0
Espesor de suelo superficial	$\geq 0.5\text{m}$	1
	$< 0.5\text{m}$	0
Nacimientos de Agua	Presentes	1
	Ausentes	0
Fallas alrededor del área	Presentes	3
	Ausentes	0

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

4.3.2 SUSCEPTIBILIDAD POR FACTORES GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS

Para la valoración de la susceptibilidad por factores geológicos y geotécnicos se tiene la tabla 4.2. La metodología recomendada es la de asignar calificaciones o valores a cada parámetro geológico o geotécnico, de acuerdo a su grado de influencia sobre la susceptibilidad y las condiciones reales del material.

Para la calificación de los diversos parámetros se requiere la intervención de geólogos y geotecnistas con amplios conocimientos sobre el comportamiento de los materiales del área en estudio.

Tabla 4.2 Valores relativos para la susceptibilidad a deslizamiento debida a factores geológicos y geotécnicos

Factor	Calificación	Ejemplo
Formación Geológica	0 a 5 dependiendo de la Calidad de la formación	Un coluvión matriz soportado calificación = 5 Una arcillolita susceptible calificación = 4 Un granito calificación = 3 Una arenisca competente calificación = 0
Estructura	0 a 3 dependiendo en el rumbo buzamiento y resistencia al cortante de las discontinuidades	Estructura favorable a los deslizamientos calificación = 3 Estructura algo favorable calificación = 2 Estructura No favorable calificación = 0
Grado de meteorización	0 a 3	Muy meteorizado calificación = 3 Roca sana calificación = 0
Fracturación	0 a 3	Muy fracturada calificación = 3 Sin fracturas importantes calificación = 0
Nivel freático	0 a 5	Superficial calificación = 5 No hay nivel freático calificación = 0
Susceptibilidad Geológico - Geotécnica	Suma de todas las calificaciones	

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

4.3.3 SUSCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTOS DE ROCAS

Para la valoración de la susceptibilidad de deslizamientos de rocas se tiene la tabla 4.3 propuesta por Nicholson, 1997.

Tabla 4.3 Pesos para evaluar la susceptibilidad de rocas a los deslizamientos

Factor	Característica	Peso
Espaciamiento de las discontinuidades	>2m	2
	600 mm - 2m	8
	200 - 600 mm	16
	60 - 200 mm	28
	<60 mm	35
Abertura de las Discontinuidades (mm)	Cerrada - 0.1 mm	1
	0.1 - 0.5 mm	3
	0.5 - 1.0 mm	7
	1.0 - 5.0 mm	13
	> 5.0 mm	15
Resistencia de la roca intacta Mpa.	> 200	2
	100 – 200	5
	50 – 100	10
	12.5 – 50	18
	5 -12.5	27
	<5	35
Meteorización	Roca Sana	1
	Roca algo meteorizada	5
	Roca moderad. meteorizada	10
	Roca altamente meteorizada	14
	Roca completamente meteorizada	15
Valor total de susceptibilidad		
Clase	Valor	Descripción de la susceptibilidad
1	0 - 20	Muy baja
2	20 - 40	baja
3	40 - 60	Moderada
4	60 - 80	Alta
5	>80	Muy alta

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

4.4 GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD

Para la valoración del grado de susceptibilidad se tiene la tabla 4.4 propuesta por Kanungo, 1993, en la misma presenta criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos

Tabla 4.4 Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos

Grado de susceptibilidad	Criterio
Muy Alta	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas, y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe alta posibilidad de que ocurran.
Alta	Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta o moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
Moderada	Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados donde no han ocurrido deslizamientos pero no existe completa seguridad de que no ocurran.
Baja	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados no saturados con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permiten predecir deslizamientos.
Muy Baja	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos.

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

4.5 AMENAZAS DE RIESGO

Amenaza natural es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un determinado período de tiempo.

4.5.1 AMENAZA POR FACTORES GEOLÓGICOS

4.5.1.1 ASPECTOS GENERALES DE LA GEOLOGÍA EN TALUDES

Entre los aspectos más importantes se tiene en primera instancia, la clasificación de las rocas, que pueden ser las que constituyen los taludes de las carreteras:

Clasificación de las rocas.-

Según su origen se dividen en tres grupos:

Ígneas.- Son las rocas formadas por consolidación del magma, sea debajo de la corteza terrestre o en su superficie.

Sedimentarias.- Son las rocas originadas en la destrucción de rocas preexistentes cuyos detritus son acumulados.

Metamórficas.- Son rocas formadas a partir de rocas sedimentarias o ígneas que han sufrido procesos de transformación de un tipo de roca a otro. La transformación puede afectar a la textura, a la composición mineralógica o a ambas.

A continuación se explicara la clasificación y descripción de las rocas sedimentarias, debido a que dos de los taludes en estudio están conformados por las mismas.

Rocas Sedimentarias.-

Las rocas sedimentarias son las que se han formado por la descomposición y acumulación de sedimentos originados de rocas preexistentes.

Estos sedimentos han tenido que sufrir los procesos de diagénesis que es el conjunto de cambios físicos que conducen a la consolidación y litificación de un sedimento con la intervención de tres factores determinantes: tiempo, sobrecarga (de otros sedimentos) y la cementación de partículas de arcilla, arena, grava o cantos por precipitación de sustancias disueltas en el agua que circula por sus poros.

Clasificación de las rocas sedimentarias por el tamaño de sus clastos:

b.1) Psefíticas.- Cuando sus clastos son mayores a 2 mm. Corresponde a gravas y bloques.

b.2) Psamíticas.- Son aquellas cuyos componentes tienen dimensiones comprendidas entre 4 mm y 1/16 mm. Dentro de este rango se encuentran las arenas que dan origen a las areniscas.

b.3) Pelíticas.- Las dimensiones de los individuos son menores 1/16 mm y corresponden a las fracciones limo y arcilla.

Descripción de las rocas sedimentarias

- **Conglomerado.-** El conglomerado es grava o cantos rodados cementados. Los individuos o fragmentos redondeados pueden ser cualquier tipo de roca y de cualquier tamaño. Los conglomerados incluyen generalmente arena y otras fracciones.
- **Brecha.-** Son semejantes a los conglomerados, pero con la diferencia fundamental de que los fragmentos en vez de ser redondeados son angulosos.
- **Areniscas.-** Las areniscas son una forma de arena endurecida por procesos geológicos. Son arenas cuyos granos están cementados por minerales, puede ser de sílice, carbonatos, hidróxidos de hierro. El tamaño de los granos generalmente está dentro del rango 2 mm y 0.074 mm. Las areniscas aunque tienden a ser resistentes, en ocasiones son relativamente débiles cuando su cementación ha sido pobre. El comportamiento de la arenisca meteorizada depende de la clase de cemento.
- **Lutita.-** Es una roca de composición esencialmente arcillosa y una estructura típica: la fisilidad o laminaridad por lo que su característica es la de separarse en laminas o escamas. Las lutitas pueden ser arcillosas, limosas, arenosas o calcáreas de acuerdo a los tamaños y composición de las partículas. En ocasiones tienen una presencia de roca cementada y en otras el de un suelo con capas relativamente sueltas. Las arcillolitas son las lutitas con alto contenido de arcilla, lo cual las hace muy físciles y susceptibles a deslizamiento. Contiene también a veces las fracciones limo y arena en

proporciones minoritarias. Son susceptibles de desintegración bajo la acción del intemperismo pasando a lodos por la acción alternada de procesos de desecación y saturación. Es una roca muy abundante en nuestro país.

- **Margas.**-Es una roca constituida por arcilla y carbonato de calcio en proporciones aproximadamente iguales. Es también muy susceptible a la meteorización.
- **Caliza.**- Compuesta básicamente de carbonato de calcio con impurezas que pueden ser: arcilla, limo, y aún arena.
- **Dolomita.**- Es una roca básicamente constituida del mineral llamado dolomita que es un carbonato doble de Ca y Mg. Es muy similar a la calcita (CaCO_3) y para distinguir las a veces se hace necesario recurrir a análisis químicos.

Buzamiento

El buzamiento es la inclinación de los estratos de roca, o dicho de otra manera, es el ángulo formado por la línea de máxima pendiente con un plano horizontal, medida sobre un plano vertical.

El ángulo de inclinación que forma el plano de la discontinuidad con la horizontal se le llama buzamiento y puede medirse en grados y minutos. Normalmente, con el conocimiento de los grados es suficiente, ya que el margen de error en la medición es relativamente alto y el buzamiento de la discontinuidad no conserva el mismo valor exacto dentro del talud.

Discontinuidad

El término estructura se refiere al sistema de discontinuidades en la masa de roca y el término discontinuidad se utiliza para describir las diversas superficies a lo largo de las cuales, la consistencia de la roca intacta se interrumpe.

Si en la roca sana o meteorizada aparecen discontinuidades o planos de debilidad, estos pueden definir el mecanismo de falla del talud.

4.5.1.2 CUANTIFICACIÓN DE AMENAZA DEBIDO A FACTORES GEOLÓGICOS.-

Para la valoración de la amenaza a deslizamiento se tiene la tabla 4.5 propuesta por Ambalagan, 1992

Tabla 4.5 Peso de los diferentes factores a tener en cuenta en la evaluación de amenaza a deslizamiento debida a factores geológicos

Factores geológicos					
Factor	Descripción	Categoría	Peso	Observaciones	
Litología	Tipo de Material	Tipo I			
		Cuarcita y Caliza	0,2	Muy meteorizada multiplicar por 4	
		Granito y Gaugo	0,3	Algo meteorizada multiplicar por 3	
		Neiss	0,4	Poco meteorizada multiplicar por 2	
		Tipo II			
		Areniscas	1	Muy meteorizada multiplicar por 1.5	
		Areniscas con algo de lutitas	1,3	Algo meteorizada multiplicar por 1.25	
				Poco meteorizada multiplicar por 1.1	
		Tipo III			
		Pizarra y Filita	1,2		
		Esquisto	1,3		
		Lutitas no arcillosas	1,8		
Lutitas, esquistos o filitas muy meteorizadas	2				
Materiales aluviales antiguos muy bien consolidados	0,8				
Suelos Arcillosos	1				
Suelos arenosos, blandos	1,4				
Coluviones antiguos	1,2				
Coluviones jóvenes	2				
Estructura	Relación de paralelismo entre el talud y las discontinuidades	Más de 30°	0,2	Se mide el ángulo que forman la dirección del talud y la dirección de las discontinuidades más representativas	
		21° a 30°	0,25		
		11° a 20°	0,3		
		6° a 10°	0,4		
		Menos de 5°	0,5		
	Relación entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud	Más de 10°	0,3	Si el del buzamiento es mayor que el del talud el ángulo es positivo y si es menor que el del talud el Ángulo es negativo	
		0° a 10°	0,5		
		0°	0,7		
		0° a -10°	0,8		
		Más de -10°	1		
	Buzamiento de la discontinuidad	Menos de 15°	0,2		
		16° a 25°	0,25		
		26° a 35°	0,3		
		36° a 45°	0,4		
		Más de 45°	0,5		
Espesor de la capa del suelo	Menos de 5 metros	0,65			
	6 a 10 metros	0,85			
	11 a 15 metros	1,3			
	16 a 20 metros	2			
	Más de 20 metros	1,2			

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

4.5.2 AMENAZAS POR FACTORES TOPOGRÁFICOS Y AMBIENTALES

Para la valoración de la amenaza a deslizamiento se tiene la tabla 4.6 propuesta por Ambalagan, 1992.

Tabla 4.6 Peso de los diferentes factores a tener en cuenta en la evaluación de amenaza a deslizamiento debida a factores topográficos y ambientales

Factores topográficos y ambientales		
Factor	Categoría	Peso
Morfometría Pendiente de los taludes	Más de 45°	2
	36° a 45°	1,7
	26° a 35°	1,2
	36° a 25°	0,8
	Menos de 15°	0,5
Relieve relativo Diferencia de altura entre la divisoria de aguas y el valle	Menos de 100 m	0,3
	101 a 300 metros	0,6
	Más de 300 metros	1
Uso de la tierra	Área urbana	2
	Cultivos anuales	2
	Vegetación intensa	0,8
	Vegetación moderada	1,2
	Vegetación escasa	1,5
	Terrenos áridos	2
Aguas Subterráneas	Inundable	1
	Pantanosos	0,8
	Muy Húmedo	0,5
	Húmedo	0,2
	Seco	0
Sumatoria o amenaza total		
Amenaza Total	Descripción	Suma de los Pesos
I	Amenaza muy baja	3,5
II	Amenaza baja	3.5 a 5
III	Amenaza moderada	5.1 a 6.0
IV	Amenaza alta	6.1 a 7.5
V	Amenaza muy alta	7,5

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

4.6 VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad es el grado de pérdida de un determinado elemento o grupo de elementos en riesgo, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud determinada.

El análisis de vulnerabilidad, requiere de un conocimiento detallado de la densidad de población, infraestructura, actividades económicas y los efectos de un determinado fenómeno sobre estos elementos en riesgo.

La vulnerabilidad es afectada por la naturaleza del sitio, si está arriba o abajo el deslizamiento, y la naturaleza del elemento en riesgo. La velocidad del movimiento también afecta la vulnerabilidad, a mayores velocidades, generalmente, las vulnerabilidades son mayores. Esto puede conducir a diferentes grados de daño en el camino o trayectoria de un deslizamiento. Para estructuras y personas, a mayor profundidad del deslizamiento, generalmente el daño es mayor y la vulnerabilidad mayor.

La valoración de la vulnerabilidad puede definirse como el nivel potencial de daño o grado de pérdida de un determinado elemento expresado en una escala de 0 a 1.

Finlay (1997) presenta un ejemplo de un enfoque directo donde los valores de vulnerabilidad son asignados directamente por referencia a los datos históricos, pero sin consideración de los diversos componentes que afectan la vulnerabilidad. Se asignan valores de 0 a 1 de acuerdo a la experiencia histórica que se tiene en el manejo de una determinada amenaza.

Para la valoración de la vulnerabilidad se tiene la Tabla 4.7 propuesta en Hong Kong, Finlay 1997.

Tabla 4.7 Valores de Vulnerabilidad Recomendados

Vulnerabilidad de una persona en un área abierta			
Caso	Rango de valores históricos	Valor recomendado	Comentarios
1.- Es golpeado por un caído de roca	0.1 - 0.7	0,5 ⁽¹⁾	Puede ser herido, pero rara vez causa la muerte
2.- Es sepultado por un flujo de detritos	0.8 - 1.0	1.0	Muerte por Asfixia
3.- No es sepultado	0.1 - 0.5	0,1	Alta probabilidad de supervivencia
Nota:(1) La proximidad de la persona debe considerarse en más detalle			
Vulnerabilidad de la persona en un vehículo			
Caso	Rango de valores históricos	Valor recomendado	Comentarios
1.- Si el vehículo es sepultado o destruido	0.9 - 1.0	1	La muerte es casi segura
2.- Si el vehículo es dañado solamente	0.0 - 0.3	0,3	Alta probabilidad de supervivencia
Vulnerabilidad de la persona en un edificio			
Caso	Rango de valores históricos	Valor recomendado	Comentarios
1.- Si el edificio colapsa	0.9 - 1.0	1	La muerte es casi segura
2.- Si el edificio es inundado con residuos del deslizamiento y la persona sepultada	0.8 - 1.0	1	La muerte es muy probable
3.- Si el edificio es inundado con residuos del deslizamiento y la persona no es sepultada	0.0 - 0.5	0,2	Alta probabilidad de supervivencia
4.- Si los residuos golpean al edificio solamente	0.0 - 0.1	0,05	Virtualmente no hay peligro ⁽¹⁾
Nota:(1) Debe tenerse en cuenta la proximidad de la persona a la parte del edificio afectada por el deslizamiento.			

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

4.7 RIESGO Y SU CUANTIFICACIÓN

Riesgo es el número esperado de vidas humanas perdidas, personas heridas, daño a la propiedad, y pérdidas económicas relacionadas con la ocurrencia de un determinado fenómeno.

Para la implementación de medidas de prevención y control es conveniente identificar los niveles de riesgo. El análisis de riesgo se fundamenta en la observación y registro de los indicadores, tanto naturales como los producidos por acción antrópica, analizados desde el punto de vista de las consecuencias resultantes en el caso de formación o progreso de procesos de deslizamiento. Estas consecuencias deben analizarse no solamente para las áreas urbanizadas sino teniendo en cuenta la posibilidad de ocupación o urbanización de las áreas aledañas.

Para el análisis de riesgo es importante que sean definidos los tipos y procesos, sus parámetros de formación y progreso y la previsión de las consecuencias resultantes. A partir de este procedimiento es posible caracterizar las situaciones de riesgo incluyendo sus dimensiones.

En este sentido, se puede, concluir que se trata de varias situaciones de riesgo localizado, afectando solamente a algunos sitios específicos del área ocupada o una situación de riesgo generalizado que afecta a toda el área ocupada. Esta caracterización es fundamental para definir la mejor forma de enfrentar un problema de deslizamientos.

Análisis Cualitativo del Riesgo

Esta es la forma más simple de realizar un estudio de riesgo a deslizamientos, el cuál incluye el adquirir el conocimiento de las amenazas, los elementos en riesgo y sus vulnerabilidades, pero expresando los resultados en forma cualitativa. Los diversos atributos pueden clasificarse o calificarse en tal forma que se expresa el riesgo en una forma prácticamente verbal.

Análisis Cuantitativo del Riesgo

El análisis cuantitativo del Riesgo incluye las siguientes actividades:

a. Análisis de las Amenazas

Se determina la distribución probable de los deslizamientos en términos del número y características de los taludes y deslizamientos para un proyecto particular.

b. Elementos en Riesgo

El objetivo es determinar la distribución probable del número, la naturaleza y características de los elementos en riesgo (personas y propiedades). Debe tenerse en cuenta la localización de los elementos en riesgo con relación a la amenaza (por ejemplo si se encuentran abajo del deslizamiento); si el elemento en riesgo está en una posición fija (ejemplo una casa) o es móvil (ejemplo personas o automóviles) y la posibilidad de medidas de mitigación como sistemas de alarma, etc.

c. Análisis de Vulnerabilidad

El objetivo es medir el grado de daño o probabilidad de pérdida de vidas, debido a la interacción del elemento en riesgo en cuánto al deslizamiento.

d. Análisis de Riesgo

El objetivo es determinar la distribución probable de las consecuencias del deslizamiento. Un estudio completo de riesgo debe definir el número de personas amenazadas, así como las propiedades. Bergren (1992) propone una tabla para evaluar el valor total del riesgo de acuerdo a la posición de las personas o propiedades, con relación al deslizamiento en la forma indicada en la tabla.

Para evaluar el valor de riesgo con relación a las personas se tiene la tabla 4.8 propuesta por Bergren, 1992.

Tabla 4.8 Análisis del Riesgo con Relación a las Personas

Población afectada	A Número de personas	B Factor de Presencia	Población Amenazada =AxB
Residentes			
Personas que viven permanentemente		1	
Personas que vienen los fines de semana (cabañas)		0.3	
Personas que permanecen en hoteles (Número de camas)		0,5	
Pacientes en hospitales (N° de camas)		1	
Pacientes en ancianatos (N° de camas)		1	
Visitantes de Día			
Número de empleados de oficinas o fábricas, alumnos y niños en colegio		0.35	
Número promedio de clientes de almacenes y centros comerciales		0,008	
Otros visitantes ocasionales		0,008	
Personas en automóviles y autobuses			
Más de 5000 vehículos promedio día		0,01	
500 a 5000 vehículos por día		0,005	
Menos de 500 vehículos por día		0,001	

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

Para evaluar el valor de riesgo con relación a propiedades se tiene la tabla 4.9 propuesta por Bergren, 1992.

Tabla 4.9 Análisis de Riesgo con Relación a Propiedades

Propiedades afectadas	Número de unidades	Factor de cálculo	Valor de las propiedades amenazadas en dólares
Casas		Valor unitario	
Casas de área menor a 90 m ²			
Casas de área de 90 a 130 m ²			
Casas de área de 130 a 200 m ²			
Casas de área de más de 200 m ²			
Edificios		Valor por m²	
Metros cuadrados de edificios de vivienda			
Metros cuadrados de escuelas, oficinas y Almacenes			
Metros cuadrados de bodegas y edificios Industriales			
Estructuras Especiales		Valor unitario	
Puentes			
Estaciones eléctricas			
Instalaciones de agua, Gas, tuberías diversas, etc.			
Áreas diversas		Valor hectárea	
Jardines			
Calles, parqueaderos y áreas duras			
Bosques			
Áreas agrícolas			

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

APLICACIÓN PRÁCTICA

5.1 UBICACIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO

El área de estudio esta ubicada en la Provincia Aniceto Arce del Departamento de Tarija, al sur de Bolivia, ubicada a 45 km. de la capital del departamento, concretamente en un subtramo de la carretera Tarija-Bermejo, entre las progresivas 12+700 a 24+000 y cuyas alturas oscilan entre los 1800 a 2300 m.s.n.m.

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 siluriano, considerando a la zona de Padcaya 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 van 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.

Ubicación del proyecto

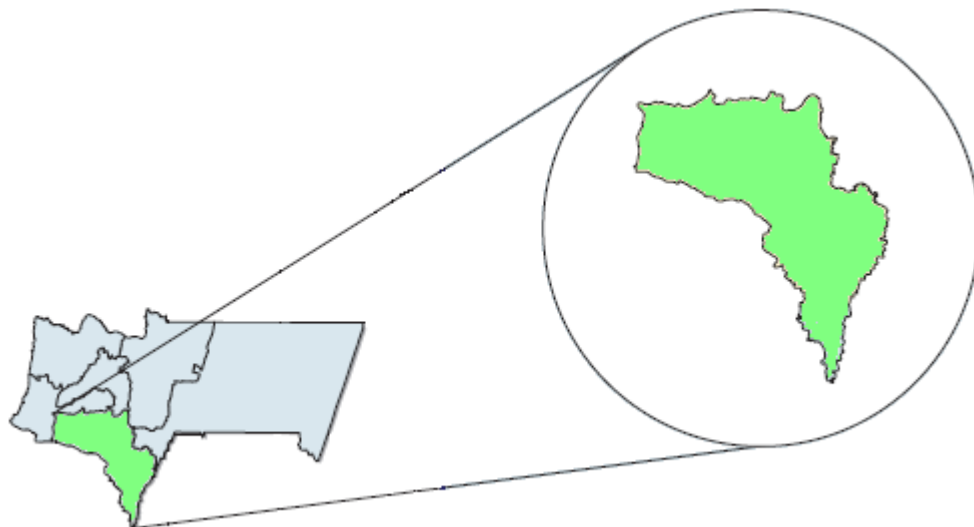


Figura 5.1 Mapa de ubicación de la zona de estudio



5.2.- CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO DE ESTUDIO

La necesidad de integración entre dos ciudades importantes como lo son Tarija y Bermejo y por ende a la República Argentina, ha dado como resultado la construcción de una importante carretera y por consiguiente la modificación del equilibrio del terreno, generando la exposición de considerables superficies a fenómenos atmosféricos, que son uno de los principales causantes del problema de inestabilidad de los taludes. Este tramo presenta a lo largo de su curso, zonas con deslizamiento de tierras a causa de la erosión de los materiales, lo que favorece al estudio de aplicación de protección a taludes planteado.

El primer kilómetro presenta suelos arenosos finos como así mismo taludes rocosos de gran susceptibilidad a deslizamiento, entre las progresivas 16+500 a 20+500 se presentan deslizamientos sucesivos en material arcilloso de mediana a gran magnitud a lo largo del mencionado tramo, posteriormente hacia las progresivas 22+100 a 22+900 se presentan suelos con material arcilloso como así mismo taludes compuestos de material coluvial y finalmente hacia la progresiva 23+500 a 24+000 se observa una mayor incidencia de derrumbes con la colmatación de cunetas y gran invasión de material a la calzada de la carretera, compuesto principalmente los taludes por material arcilloso con mezcla de arenas.

La mayoría de los taludes presenta deslizamientos por falta de protección, lo que ha generado inquietud y preocupación debido a que los deslizamientos son causantes de diversos problemas que traen consigo un costo adicional en el mantenimiento de la vía, falta de transitabilidad, deterioro de obras menores y de la estructura misma de la carretera.

Lo que obliga a la realización de estudios de protección, ayudados por metodologías de Análisis de riesgo que pueden ser de gran ayuda en estudios preliminares para la posterior toma de decisiones.

5.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DE LOS TALUDES

La construcción de la carretera Tarija - Bermejo trae 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 “Padcaya – La Merced” presentan deslizamientos importantes en algunos taludes del tramo, 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 de Cebolla huayco (Fotografía 5.1), el talud N° 2 pasando el Puente Campanario (Fotografía 5.2) y el talud N° 3 en la zona de la Merced (Fotografía 5.3).

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, es decir, materiales coluviales como en el caso del talud N°2, material de poca cohesión que tiene la característica de desprendimientos de partículas permanentes. El talud N° 1 con materiales provenientes de la degradación de rocas sedimentarias que en algunos de sus estratos están con partículas ya desprendidas acumuladas al pie del mismo y el talud N° 3 cuyos materiales tienen una apariencia de roca desintegrada en pliegues.

Fotografía 5.1 Talud N°1



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 5.2 Talud N°2



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 5.3 Talud N°3



Fuente: Elaboración Propia

TALUD N°1

Tramo: Padcaya – La Merced (Zona de Cebolla huayco)

Talud: Corte (lado izquierdo)

Fotografía 5.4 Píe de Talud



Fuente: Elaboración Propia

El talud de corte tiene una altura de 14 m, una longitud aproximada de 80m y una inclinación de 66° . El talud está conformado por roca fracturada de color gris, presenta inestabilidad, ya que se observa en la parte del pie de talud acumulación de material y los deslizamientos llegan a cubrir las cunetas y parte de la calzada. (Fotografía 5.4)

Las causas de mayor incidencia que generan inestabilidad, es la presencia de agua, que provoca humedad en el talud, se satura estos materiales sueltos de modo que aumenta la presión intersticial y por efecto de la gravedad este se viene abajo ocasionando el deslizamiento, otra causa es la falta de vegetación y la manera en que se encuentra el material, compuesto por rocas fracturadas y material suelto que permite al agua infiltrarse dentro del suelo provocando deslizamiento. (Fotografía 5.5)

Fotografía 5.5 Deslizamiento y humedad



Fuente: Elaboración Propia

TALUD N°2

Tramo: Padcaya – La Merced

Talud: Corte (lado izquierdo)

Fotografía 5.6 Cuerpo de Talud



Fotografía 5.7 Píe de Talud



Fuente: Elaboración Propia

El talud de corte se encuentra pasando el puente Campanario con una altura de 15 m, una longitud aproximada de 120 m y una inclinación de 63°.

Es un talud conformado por material coluvial de color blanco amarillento, cuenta con la presencia de piedras de considerable tamaño incrustadas en el cuerpo del talud y además presenta una banqueta a una altura aproximada de 8 metros.

El Talud tiene signos de erosión superficial lo que causa deslizamiento de masas de tierra y de piedras que llegan hasta la parte inferior del talud. (Fotografía 5.7). Ocurren también los deslizamientos por que el ángulo del talud es un tanto escarpado y favorece a la inestabilidad produciéndose la caída de material y de piedras a la vía a causa de la gravedad.

Se observa la formación de cárcavas profundas en su cuerpo y se ve a simple vista que uno de los agentes desestabilizadores más importantes es el agua superficial o de escorrentía asociado a los suelos con baja cohesión, además el cuerpo del talud se encuentra cubierto con poca vegetación (Fotografía 5.6).

TALUD N°3

Tramo: Padcaya – La Merced

Talud: Corte (lado izquierdo)

Fotografía 5.8 Cuerpo de Talud



Fotografía 5.9 Pie de talud



Fuente: Elaboración Propia

El talud de corte se encuentra en la zona de La Merced con una altura de 11 m, una longitud aproximada de 60 m y una inclinación de 72°.

La parte del lado izquierdo del talud presenta buzamiento de los estratos con una inclinación aproximada de 43° (Fotografía 5.10).

Fotografía 5.10 Buzamiento Talud N°3



Fuente: Elaboración Propia

El material del talud esta conformado por areniscas con algo de lutitas, una de las características de las areniscas es que presentan material cementante como sílice, carbonatos o hidróxidos de hierro, por la coloración en este talud de estudio predominan los carbonatos, cuyas partículas desprendidas se encuentran en el pie de talud que llegan a cubrir las cunetas(Fotografía 5.9), se presenta en el cuerpo del talud un evidente deterioro producto de la erosión que causa deslizamiento de los pliegues de roca, puesto que este talud se encuentra con poca vegetación (Fotografía 5.8).

Entonces, se puede mencionar, que la mayor causa de inestabilidad en el talud es el propio material por el que esta constituido, puesto que las areniscas son más propensas a desprendimientos, ocasionando que las rocas fracturadas (lutitas) se suelten con mayor facilidad.

5.3.1 Aspectos Geológicos en los taludes de estudio

Ubicando a los Taludes, objeto de estudio dentro del contexto Geológico, podemos situar a ellos según Estratigrafía al **Cuaternario**, litológicamente se hallan formados por rocas fracturadas, gravas, arcillas y limos mal clasificados, generados por la erosión pluvial de las rocas sedimentarias en las serranías y depositadas en los pie de monte y llanuras.

Los sedimentos cuaternarios formados por rocas fracturadas, gravas y arcillas constituyen los valles altos. Los sedimentos cuaternarios finos como las arenas, arcillas y limos constituyen los suelos típicos de zonas sub tropicales a tropicales húmedos

5.3.2 Proceso de caracterización de los materiales en los taludes de estudio.-

Una vez definida la ubicación de los taludes inestables en el tramo "Padcaya – La Merced" se procedió al estudio de suelos que esta dividida en tres etapas:

- Trabajo de Campo
- Trabajo de Laboratorio
- Trabajo de Gabinete

5.3.2.1 Trabajo de Campo

Esta fase comprendió el reconocimiento de los taludes inestables en el tramo, como así también el área circundante del mismo, determinando mediante la inspección visual y mediciones las características predominantes de los materiales constitutivos.

Para la caracterización de materiales en la fase de trabajo de campo, se procedió a realizar la recolección de las muestras representativas del material de pie, mitad y cabeza de cada uno de los tres taludes objeto a estudio (Fotografía 5.11). Y también se realizó la medición de inclinación, longitud y altura de los mismos, además con el fin de obtener parámetros de estudio para determinar el análisis de riesgo se hizo la medición de espesores de los estratos, de la dirección de las discontinuidades más representativas y de buzamiento si es que presentaba el talud (Fotografía 5.12),

Fotografía 5.11 Recolección de muestras Talud N°2



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 5.12 Medición de inclinación Talud N°3



Fuente: Elaboración Propia

5.3.2.2 Trabajo de Laboratorio

Para la caracterización de materiales de los Taludes N° 1, 2 y 3 las muestras obtenidas fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos y Hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S), a excepto de los ensayos de Peso Especifico relativo y compresión Triaxial que se realizo para el Talud N° 2 en la ciudad de La Paz en el Instituto de Ensayo de Materiales de la Universidad Mayor de San Andrés (U.M.S.A).

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, conjuntamente 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
- Determinación del ángulo de fricción y de la cohesión mediante el ensayo de compresión Triaxial de resistencia al esfuerzo cortante.

Granulometría.-

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

Fotografía 5.13 Método del lavado

Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 5.14 Juego de tamices

Fuente: Elaboración Propia

Limites de Atterberg.-

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

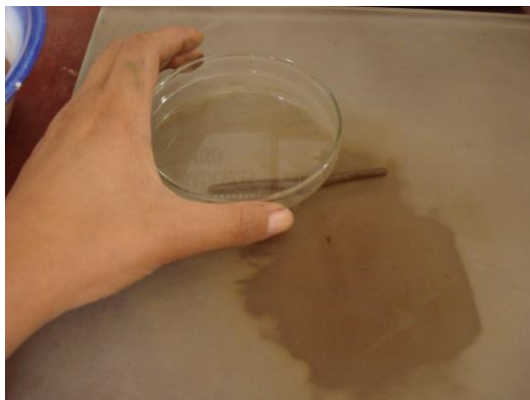
Fotografía 5.15 Copa de Casagrande con ranurador laminar



Fuente: Elaboración Propia

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

Fotografía 5.16 Instrumental necesario para (LP)



Fuente: Elaboración Propia

Ensayo de compresión Triaxial de resistencia al esfuerzo cortante.-

Las pruebas de compresión triaxial son las más usadas para determinar las características de esfuerzo-deformación y de resistencia de los suelos.

Teóricamente son pruebas en que se podrían variar a voluntad las presiones actuantes en tres direcciones ortogonales sobre un espécimen de suelo, efectuando mediciones sobre sus características mecánicas en forma completa.

Los especímenes son usualmente cilíndricos y están sujetos a presiones laterales de un líquido, generalmente agua, del cual se protegen con una membrana impermeable. Para lograr el debido confinamiento, la muestra se coloca en el interior de la cámara cilíndrica y hermética, de lucita con bases metálicas.

Fotografía 5.17 Cámara de compresión triaxial



Fuente: Elaboración Propia

En las bases de la muestra se colocan piedras porosas, cuya comunicación con una bureta exterior puede establecerse a voluntad con segmentos de tubo plástico. El agua de la cámara puede adquirir cualquier presión deseada por la acción de un compresor comunicado con ella. La carga axial se transmite al espécimen por medio de un vástago que atraviesa la base superior de la cámara.

La presión que se ejerce con el agua que llena la cámara es hidrostática y produce, por lo tanto, esfuerzos principales sobre el espécimen, iguales en todas las direcciones, tanto lateral como axialmente. En las bases del espécimen actuará, además de la presión del agua, el efecto transmitido por el vástago de la cámara desde el exterior.

Fotografía 5.18 Conjunto de un banco de compresión triaxial



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 5.19 Especimen antes de la Compresión Triaxial



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 5.20 Espécimen después de la Compresión Triaxial



Fuente: Elaboración Propia

Realizando por lo menos 3 pruebas, con presiones laterales diferentes, en un gráfico se dibujan los círculos de Mohr que representan los esfuerzos de falla de cada muestra y trazando una tangente o envolvente a éstos, se determinan los parámetros de corte, ángulo de fricción interna (ϕ) y la cohesión (C) del suelo.

5.3.2.3 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 las 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, parámetros de estudio hallados mediante mediciones y observaciones realizadas visualmente en la etapa de trabajo de campo a los diferentes taludes.

Resultados de laboratorio

Mediante el estudio de suelos, realizado en el Laboratorio de Suelos y Hormigones 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 5.1 Clasificación de Suelos

Talud N°		LL	LP	IP	Clasificación AASHTO	Clasificación SUCS	
1	Pie	26,24	20,74	5,5	A-1-a ₍₀₎	GC - GM	Grava limo-arcillosa con arena
	Mitad	29,27	22,49	6,78	A-2-4 ₍₀₎	GP - GC	Grava mal graduada con arcilla y arena
	Cabeza	35,34	26,95	8,39	A-2-4 ₍₀₎	GP - GC	Grava mal graduada con arcilla
2	Pie	NP	NP	NP	A-1-a ₍₀₎	GP - GM	Grava mal graduada con limo y arena
	Mitad	NP	NP	NP	A-1-a ₍₀₎	GP - GM	Grava mal graduada con limo y arena
	Cabeza	26,84	22,49	4,35	A-2-4 ₍₀₎	GC - GM	Grava limo-arcillosa con arena
3	Pie	31,43	26,12	5,31	A-1-a ₍₀₎	GW	Grava bien graduada con arena
	Mitad	31,84	21,5	10	A-2-4 ₍₀₎	GP - GC	Grava mal graduada con arcilla y arena
	Cabeza	31,73	26,2	5,53	A-1-a ₍₀₎	GW	Grava bien graduada con arena

Los ensayos realizados para el Talud N° 2 en el Instituto de Ensayo de Materiales de la Universidad Mayor de San Andrés (U.M.S.A), se obtuvo los siguientes resultados. Este detalle se muestra en la parte de anexos.

Resultado del ensayo de Peso Específico Relativo (Gs) = 2,646 gr /cm³

Resultado del ensayo de Compresión Triaxial:

Tabla 5.2 Parámetros de corte del suelo

Cohesión C (Kg /cm ²)	0,46
Pendiente	0,51
Ángulo de fricción interna Φ (°)	27

Parámetros de estudio

Para iniciar con el procesamiento de la determinación del riesgo se obtuvieron en campo para cada talud los parámetros de estudio geológicos, topográficos y ambientales. Para la calificación de los diversos parámetros geológicos se requiere la intervención de ingenieros geólogos con amplios conocimientos sobre el comportamiento de los materiales del área en estudio.

TALUD N°1

Los parámetros de estudio para determinar la amenaza a deslizamiento debida a factores geológicos son los siguientes:

Tabla 5.3 Parámetros de estudio geológicos talud N°1

Litología	Tipo de Material	Lutitas
Estructura	Relación de paralelismo entre el talud y las discontinuidades	18°
	Espesor de la capa del suelo	14 metros

Los parámetros de estudio para determinar la amenaza a deslizamiento debida a factores topográficos y ambientales son los siguientes:

Tabla 5.4 Parámetros de estudio topográficos y ambientales talud N°1

Morfometría	66°
Pendiente de los taludes	
Uso de la tierra	Terrenos áridos
Aguas Subterráneas	Húmedo

Los parámetros de estudio para determinar la vulnerabilidad son los siguientes:

Tabla 5.5 Parámetros de estudio de vulnerabilidad talud N°1

Vulnerabilidad de una persona en un área abierta	
No es sepultado	0.1
Vulnerabilidad de la persona en un vehículo	
Si el vehículo es dañado solamente	0.3

TALUD N°2

Los parámetros de estudio para determinar la amenaza a deslizamiento debida a factores geológicos son los siguientes:

Tabla 5.6 Parámetros de estudio geológicos talud N°2

Litología	Tipo de Material	Coluviones antiguos
Estructura	Relación de paralelismo entre el talud y las discontinuidades	12°
	Espesor de la capa del suelo	15 metros

Los parámetros de estudio para determinar la amenaza a deslizamiento debida a factores topográficos y ambientales son los siguientes:

Tabla 5.7 Parámetros de estudio topográficos y ambientales talud N°2

Morfometría Pendiente de los taludes	63°
Uso de la tierra	Vegetación moderada
Aguas Subterráneas	Seco

Los parámetros de estudio para determinar la vulnerabilidad son los siguientes:

Tabla 5.8 Parámetros de estudio de vulnerabilidad talud N°2

Vulnerabilidad de una persona en un área abierta	
No es sepultado	0.1
Vulnerabilidad de la persona en un vehículo	
Si el vehículo es dañado solamente	0.3

TALUD N°3

Los parámetros de estudio para determinar la amenaza a deslizamiento debida a factores geológicos son los siguientes:

Tabla 5.9 Parámetros de estudio geológicos talud N°3

Litología	Tipo de Material	Areniscas con algo de lutitas
Estructura	Relación de paralelismo entre el talud y las discontinuidades	7°
	Relación entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud	-29 °
	Buzamiento de la discontinuidad	43°
	Espesor de la capa del suelo	2 metros

Los parámetros de estudio para determinar la amenaza a deslizamiento debida a factores topográficos y ambientales son los siguientes:

Tabla 5.10 Parámetros de estudio topográficos y ambientales talud N°3

Morfometría	72°
Pendiente de los taludes	
Uso de la tierra	Terrenos áridos
Aguas Subterráneas	Seco

Los parámetros de estudio para determinar la vulnerabilidad son los siguientes:

Tabla 5.11 Parámetros de estudio de vulnerabilidad talud N°3

Vulnerabilidad de una persona en un área abierta	
No es sepultado	0.1
Vulnerabilidad de la persona en un vehículo	
Si el vehículo es dañado solamente	0.3

5.4 ANÁLISIS DE RIESGO DE LOS TALUDES

Mediante la recopilación de información de los parámetros de estudio obtenidos en campo, se realizó el análisis de riesgo a deslizamiento de los taludes por medio de tablas realizadas por el IUGS, Grupo de trabajo en deslizamientos, Comité en la valoración del riesgo (1997); elaborado en el taller Internacional del gran riesgo en Honolulu, Hawai, EEUU. Y que se dividen en cuatro factores fundamentales como lo son la Susceptibilidad, Amenaza, Vulnerabilidad y el Riesgo, de los cuales solo se realizará el estudio para los factores de Amenaza y vulnerabilidad.

El factor “**Amenaza**” esta compuesto de dos tablas.

Tabla N°1.- Relacionada a la amenaza a deslizamiento debida a factores geológicos.

Tabla N°2.- Relacionada a la amenaza a deslizamiento debida a factores topográficos y ambientales.

Este factor es cuantificado por medio de las tablas citadas anteriormente, realizando la sumatoria de los diferentes pesos que se obtienen de acuerdo a la información recabada al realizar mediciones y mediante la inspección visual ó inspección de campo de los taludes en estudio, donde determina la descripción de la Amenaza que así mismo varía de muy baja a muy alta de acuerdo a valores estipulados en tablas. Nos permite observar que probabilidad existe acerca de la ocurrencia de un fenómeno de gran magnitud.

El factor “**Vulnerabilidad**” esta compuesta de una tabla.

Tabla N° 1.- Relacionada con la vulnerabilidad de una persona en un área abierta, en un vehículo y en un edificio.

Nos permite determinar cual será el grado de pérdida de un determinado grupo de elementos o elemento en riesgo, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno.

Con la metodología empleada se pudo obtener los siguientes resultados para los tres taludes de estudio de acuerdo al tabulado de las siguientes tablas:

TALUD N°1.-

El talud N° 1 cuya característica fundamental es la de estar constituido en su gran parte de roca sedimentaria degradada cuyas partículas desprendidas se encuentran al pie de talud y como llevan en su constitución parte de lutitas, éstas en contacto con el agua se desintegran produciendo finos plásticos que quedan en la superficie de la plataforma.

Para la determinación de la amenaza por factores geológicos debemos definir los siguientes parámetros:

Factor Litología.-Se trata de una roca sedimentaria en degradación que tiene composición básica de estratos o capas susceptibles de desintegración bajo la acción del intemperismo, entre sus pliegues existen areniscas y arcillas en menor proporción, sin embargo es importante establecer que el material desintegrado por su propio peso se desliza hacia el pie de talud donde se tomó muestras que se constituyeron en partículas gruesas. De acuerdo al cuadro, se ha determinado por las características descritas, que el talud está constituido por “Lutitas, esquistos ó filitas muy meteorizadas” cuyo peso de esa categoría es de **2**.

Factor Estructura.-En cuanto a este factor se debe definir los siguientes parámetros:

Relación de Paralelismo entre talud y las discontinuidades.-El valor para este talud de la relación entre el paralelismo y las discontinuidades se determinó “in situ” mediante la medición con huincha sobre la cabecera del talud, entre las direcciones del talud y la dirección de la discontinuidad más representativa, que nos da una magnitud cerca de los 18°, con ese ángulo se establece el peso de la tabla cuyo valor es **0,3**.

Espesor de la capa de suelo.-Para este talud se ha considerado como espesor de la capa de suelo a la altura total del talud que es de 14 m, considerando que no existe una diferenciación de estratos, puesto que presenta la misma estructura en todo el talud, en función a la altura se establece el peso de la tabla que resulta el valor de **1.3**.

TABLA 5.12
AMENAZA A DESLIZAMIENTO DEBIDA A FACTORES GEOLÓGICOS
TALUD N°1

Factores geológicos				
Factor	Descripción	Categoría	Peso	Observaciones
Litología	Tipo de Material			
		Lutitas	2	
Estructura	Relación de paralelismo entre el talud y las discontinuidades	18°	0,3	Se mide el ángulo que forman la dirección del talud y la dirección de las discontinuidades más representativas
	Relación entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud			
	Buzamiento de la discontinuidad			
	Espesor de la capa del suelo	14 metros	1,3	
SUMATORIA =			3,6	

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

TABLA 5.13
AMENAZA A DESLIZAMIENTO DEBIDA A FACTORES
TOPOGRÁFICOS Y AMBIENTALES
TALUD N°1

Factores topográficos y ambientales		
Factor	Categoría	Peso
Morfometría Pendiente de los taludes	66°	2
Relieve relativo Diferencia de altura entre la divisoria de aguas y el valle		
Uso de la tierra	Terrenos áridos	2
Aguas Subterráneas	Húmedo	0,2
	SUMATORIA =	4,2

Sumatoria o amenaza total		
Amenaza Total	Descripción	Suma de los Pesos
I	Amenaza muy baja	3,5
II	Amenaza baja	3.5 a 5
III	Amenaza moderada	5.1 a 6.0
IV	Amenaza alta	6.1 a 7.5
V	Amenaza muy alta	7,5

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

NOTA: Se realiza la sumatoria total de las tablas 5.12, 5.13 y con ese valor se entrará a la tabla de Sumatoria o Amenaza Total.

VALOR TOTAL DE AMENAZA	PESO TOTAL
AMENAZA MUY ALTA =	7,8

TABLA 5.14
VULNERABILIDAD

TALUD N°1

Vulnerabilidad de una persona en un área abierta			
Caso	Rango de valores históricos	Valor recomendado	Comentarios
1.- Es golpeado por un caído de roca			
2.- Es sepultado por un flujo de detritos			
3.- No es sepultado	0.1 - 0.5	0,1	Alta probabilidad de Supervivencia
Vulnerabilidad de la persona en un vehículo			
Caso	Rango de valores históricos	Valor recomendado	Comentarios
1.- Si el vehículo es sepultado o Destruído			
2.- Si el vehículo es dañado Solamente	0.0 - 0.3	0,3	Alta probabilidad de Supervivencia
Vulnerabilidad de la persona en un edificio			
Caso	Rango de valores históricos	Valor recomendado	Comentarios
1.- Si el edificio colapsa			
2.- Si el edificio es inundado con residuos del deslizamiento y la persona sepultada			
3.- Si el edificio es inundado con residuos del deslizamiento y la persona no es sepultada			
4.- Si los residuos golpean al edificio solamente			
SUMATORIA =		0,4	

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

TALUD N°2

El talud N° 2 cuya característica fundamental es de estar constituido por material coluvial cuyas partículas no tienen un aglomerante cohesivo y éstas por acciones de agua y viento hacen que se pierda las partículas finas, dando lugar al desprendimiento de las partículas de mayor tamaño.

Para la determinación de la amenaza por factores geológicos debemos definir los siguientes parámetros:

Factor Litología.-Se trata de material coluvial compuesto de gravas, arenas gruesas, arenas finas y finos no plásticos que no tienen aglomerante y su desprendimiento de partículas es muy frecuente, ya que entre sus partículas existen areniscas en menor proporción, sin embargo es importante establecer que el material se desprende porque los materiales finos tienen baja cohesión, permitiendo que las partículas de mayor peso se deslicen hacia el pie de talud De acuerdo al cuadro se ha determinado por las características descritas que el talud esta constituida por “Coluviones antiguos” cuyo peso de esa categoría es de **1.2**.

Factor Estructura.-En cuanto a este factor se debe definir los siguientes parámetros:

Relación de Paralelismo entre talud y las discontinuidades.-El valor para este talud de la relación entre el paralelismo y las discontinuidades se determino in situ mediante la medición con huincha sobre la cabecera del talud, entre las direcciones del talud y la dirección de la discontinuidad más representativa, que nos da una magnitud cerca de los 12°, con ese ángulo se establece de la tabla el valor de **0,3**.

Espesor de la capa de suelo.-

Para este talud se ha considerado como espesor de la capa de suelo a la altura total del talud que es de 15 m, considerando que no existe una diferenciación marcada de estratos, aunque en algún sector se presente estratos de areniscas de espesor pequeño con relación a la altura del talud. Por lo que se considero que el talud presenta la misma estructura en todo su cuerpo, en función a la altura se establece el peso de la tabla que resulta el valor de **1.3**.

TABLA 5.15
AMENAZA A DESLIZAMIENTO DEBIDA A FACTORES GEOLÓGICOS
TALUD N°2

Factores geológicos				
Factor	Descripción	Categoría	Peso	Observaciones
Litología	Tipo de Material			
			Coluviones antiguos	1,2
Estructura	Relación de paralelismo entre el talud y las discontinuidades	12 °	0,3	Se mide el ángulo que forman la dirección del talud y la dirección de las discontinuidades más representativas
	Relación entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud			
	Buzamiento de la discontinuidad			
	Espesor de la capa del suelo	15 metros	1.3	
SUMATORIA =			2,8	

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

TABLA 5.16
AMENAZA A DESLIZAMIENTO DEBIDA A FACTORES
TOPOGRÁFICOS Y AMBIENTALES
TALUD N°2

Factores topográficos y ambientales		
Factor	Categoría	Peso
Morfometría Pendiente de los taludes	63°	2
Relieve relativo Diferencia de altura entre la divisoria de aguas y el valle		
Uso de la tierra	Vegetación moderada	1,2
Aguas Subterráneas	Seco	0
SUMATORIA =		3,2

Sumatoria o amenaza total		
Amenaza Total	Descripción	Suma de los Pesos
I	Amenaza muy baja	3,5
II	Amenaza baja	3.5 a 5
III	Amenaza moderada	5.1 a 6.0
IV	Amenaza alta	6.1 a 7.5
V	Amenaza muy alta	7,5

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

NOTA: Se realiza la sumatoria total de las tablas 5.15, 5.16 y con ese valor se entrará a la tabla de Sumatoria o Amenaza Total.

VALOR TOTAL DE AMENAZA	PESO TOTAL
AMENAZA MODERADA =	6,0

TABLA 5.17
VULNERABILIDAD
TALUD N°2

Vulnerabilidad de una persona en un área abierta			
Caso	Rango de valores históricos	Valor recomendado	Comentarios
1.- Es golpeado por un caído de roca			
2.- Es sepultado por un flujo de detritos			
3.- No es sepultado	0.1 - 0.5	0,1	Alta probabilidad de Supervivencia
Vulnerabilidad de la persona en un vehículo			
Caso	Rango de valores históricos	Valor recomendado	Comentarios
1.- Si el vehículo es sepultado o Destruído			
2.- Si el vehículo es dañado Solamente	0.0 - 0.3	0,3	Alta probabilidad de Supervivencia
Vulnerabilidad de la persona en un edificio			
Caso	Rango de valores históricos	Valor recomendado	Comentarios
1.- Si el edificio colapsa			
2.- Si el edificio es inundado con residuos del deslizamiento y la persona sepultada			
3.- Si el edificio es inundado con residuos del deslizamiento y la persona no es sepultada			
4.- Si los residuos golpean al edificio solamente			
SUMATORIA =		0,4	

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

TALUD N°3

El talud N° 3 cuya característica fundamental es que esta constituido por material de areniscas con algo de lutitas, normalmente estas areniscas tienen algún material cementante como sílice, carbonatos o hidróxidos de hierro, por la coloración en nuestro talud de estudio predominan los carbonatos, cuyas partículas desprendidas se encuentran a pie de talud.

Para la determinación de la amenaza por factores geológicos definimos los siguientes parámetros:

Factor Litología.-

Se trata de un material que tiene composición básica de estratos de areniscas aglomeradas con algún cementante que puede ser sílice, carbonatos o hidróxidos de hierro, predominando los carbonatos, este cementante hace que la apariencia del talud sea de una masa sólida y continua, sin embargo en algunos de sus estratos presenta areniscas puras que son las más propensas al desprendimiento y entre sus pliegues existen algunas lutitas en degradación, es importante establecer que el material se desprende porque los materiales aglomerantes afectados por el intemperismo genera que las areniscas se suelten y que sus partículas se deslicen hacia el pie de talud donde se tomo muestras que se constituyeron en partículas de diferentes tamaños. De acuerdo al cuadro se ha determinado por las características descritas que el cuerpo del talud esta constituida por “Areniscas con algo de lutitas” las cuales están algo meteorizadas cuyo peso de esa categoría es de **1.625**.

Factor Estructura.- En cuanto a este factor se debe definir los siguientes parámetros:

Relación de Paralelismo entre talud y las discontinuidades.-

El valor para este talud de la relación entre el paralelismo y las discontinuidades se determino in situ mediante la medición con huincha sobre la cabecera del talud, entre las direcciones del talud y la dirección de la discontinuidad más representativa, que

da una magnitud cerca de los 7° , con ese ángulo se establece el peso de la tabla cuyo valor es **0,4**.

Relación entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud.-

Este talud inspeccionado en sitio muestra un marcado buzamiento de sus estratos sedimentarios, de manera que con ayuda de una huincha se determina el ángulo de buzamiento, la relación entre este ángulo y el de la inclinación del talud permite establecer el valor de -29° , siendo negativo porque el ángulo de buzamiento es menor que el del talud, con este valor en la tabla determina un peso de **1,0**.

Buzamiento de la discontinuidad.-

En el sector izquierdo del cuerpo del talud se evidencia buzamiento que es el valor del ángulo que forman los estratos sedimentarios más representativos con respecto a un plano horizontal, que ha sido medido mediante funciones trigonométricas, en el caso particular de este talud da un ángulo de 43° cuyo valor en la tabla determina un peso de **0,4**.

Espesor de la capa de suelo.-

Para este talud se ha considerado como espesor de la capa de suelo a la altura del estrato más representativo, considerando que existe una diferenciación marcada de estratos en el cuerpo del talud, que permite identificar el buzamiento y separación de sus estratos sedimentarios. Por lo que se considero para realizar la medición al estrato más representativo cuyo espesor es de 2 m y cuyo peso de la tabla es el valor de **0,65**

TABLA 5.18
AMENAZA A DESLIZAMIENTO DEBIDA A FACTORES GEOLÓGICOS
TALUD N°3

Factores geológicos				
Factor	Descripción	Categoría	Peso	Observaciones
Litología	Tipo de Material			
		Areniscas con algo de lutitas =1,3	1,625	Algo meteorizada multiplicar por 1.25
Estructura	Relación de paralelismo entre el talud y las discontinuidades	7°	0,4	Se mide el ángulo que forman la dirección del talud y la dirección de las discontinuidades más Representativas
	Relación entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud	-29°	1	Si el del buzamiento es mayor que el del talud el ángulo es positivo y si es menor que el del talud el Ángulo es negativo
	Buzamiento de la discontinuidad	43°	0,4	
	Espesor de la capa del suelo	2 metros	0,65	
SUMATORIA =			4,075	

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

TABLA 5.19
AMENAZA A DESLIZAMIENTO DEBIDA A FACTORES
TOPOGRÁFICOS Y AMBIENTALES
TALUD N°3

Factores topográficos y ambientales		
Factor	Categoría	Peso
Morfometría Pendiente de los taludes	72°	2
Relieve relativo Diferencia de altura entre la divisoria de aguas y el valle		
Uso de la tierra	Terrenos áridos	2
Aguas Subterráneas	Seco	0
SUMATORIA =		4

Sumatoria o amenaza total		
Amenaza Total	Descripción	Suma de los Pesos
I	Amenaza muy baja	3,5
II	Amenaza baja	3.5 a 5
III	Amenaza moderada	5.1 a 6.0
IV	Amenaza alta	6.1 a 7.5
V	Amenaza muy alta	7,5

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

NOTA: Se realiza la sumatoria total de las tablas 5.18, 5.19 y con ese valor se entrará a la tabla de Sumatoria o Amenaza Total.

VALOR TOTAL DE AMENAZA	PESO TOTAL
AMENAZA MUY ALTA =	8,075

TABLA 5.20
VULNERABILIDAD
TALUD N°3

Vulnerabilidad de una persona en un área abierta			
Caso	Rango de valores históricos	Valor recomendado	Comentarios
1.- Es golpeado por un caído de roca			
2.- Es sepultado por un flujo de detritos			
3.- No es sepultado	0.1 - 0.5	0,1	Alta probabilidad de Supervivencia
Vulnerabilidad de la persona en un vehículo			
Caso	Rango de valores históricos	Valor recomendado	Comentarios
1.- Si el vehículo es sepultado o destruido			
2.- Si el vehículo es dañado solamente	0.0 - 0.3	0,3	Alta probabilidad de Supervivencia
Vulnerabilidad de la persona en un edificio			
Caso	Rango de valores históricos	Valor recomendado	Comentarios
1.- Si el edificio colapsa			
2.- Si el edificio es inundado con residuos del deslizamiento y la persona sepultada			
3.- Si el edificio es inundado con residuos del deslizamiento y la persona no es sepultada			
4.- Si los residuos golpean al edificio solamente			
SUMATORIA =		0,4	

Fuente: Jaime, Suárez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

5.5 EVALUACIÓN DE RIESGOS VS REFUERZOS

La realización del estudio ha logrado estimar el riesgo a deslizamiento en tres taludes, ubicados en la carretera Padcaya - La Merced, mediante la metodología de cuantificación basada en dos factores de análisis; que son Amenaza y Vulnerabilidad, obteniéndose diferentes valores para cada talud como se muestra en la **Tabla 5.21**.

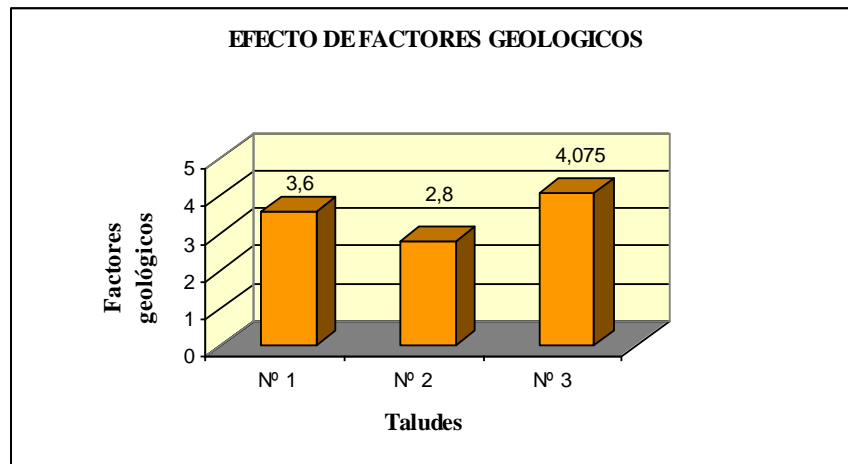
Tabla 5.21 Resumen Amenaza y vulnerabilidad

CUADRO RESUMEN		
Talud N° 1	Amenaza muy Alta	7,8
	Vulnerabilidad	0,4
Talud N° 2	Amenaza Moderada	6
	Vulnerabilidad	0,4
Talud N° 3	Amenaza muy Alta	8,075
	Vulnerabilidad	0,4

La gran actividad deslizante en esta zona se debe principalmente a la pendiente del talud, agresividad de la lluvia, erosión de los suelos, a la falta de medidas de control, de mitigación y a la ausencia de vegetación, constituyendo a los taludes desnudos en muchos de los casos. El hecho que no existan prácticas de protección agrava el proceso de deslizamientos.

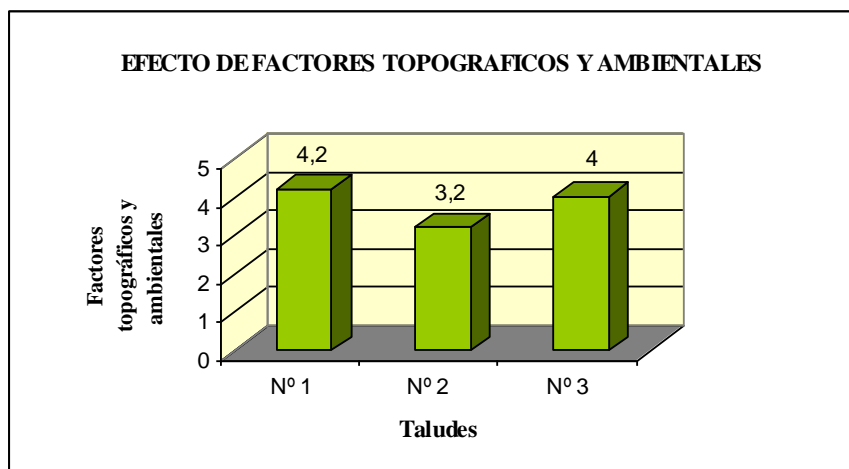
Debemos añadir que los tres taludes estudiados fueron aquellos con notorio deterioro en su estructura en los que se pudo observar escasa presencia de vegetación y una pendiente elevada, ya que en la zona son muy pocos los taludes con pendiente suave, por lo que estas condiciones favorecen de gran manera a la actividad deslizante.

Figura 5.2 Efecto de factores geológicos



En la **Figura 5.2** se observa los valores obtenidos en la cuantificación de la Amenaza a deslizamiento debida a factores geológicos, obteniendo para el Talud N° 2 el valor mas bajo debido al tipo de material y discontinuidades mínimas que presenta, puesto que son favorables para que no suceda la erosión del mismo. Para los Taludes N° 1,3 los valores de amenaza son mas altos, puesto que el Talud N° 1 esta conformado de lutitas y presenta discontinuidades desfavorables y por ultimo el Talud N° 3 esta conformado de Areniscas con presencia de lutitas y presenta en su estructura un valor considerable de buzamiento.

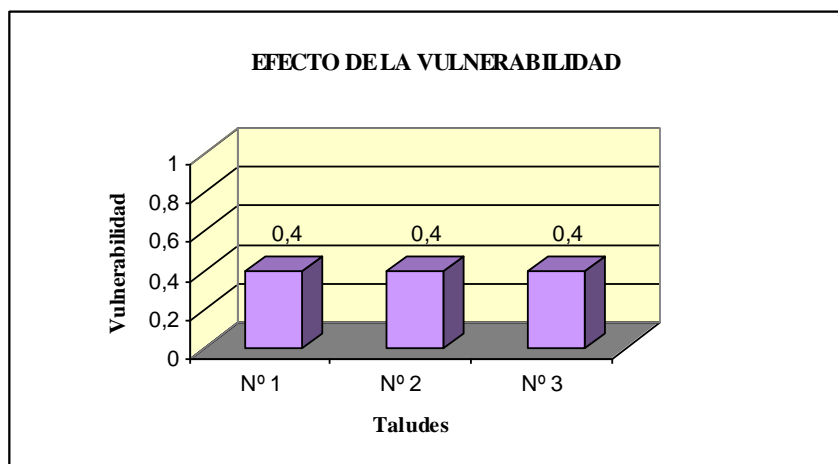
Figura 5.3 Efecto de factores topográficos y ambientales



En la **Figura 5.3** se observa los valores obtenidos en la cuantificación de la Amenaza a deslizamiento debida a factores topográficos y ambientales, obteniendo para el Talud N° 2 el valor mas bajo debido a que presenta una vegetación moderada y no

cuenta con la presencia de aguas subterráneas. Para los Taludes N° 1,3 los valores de amenaza son más altos por las pendientes elevadas de los mismos y la falta de vegetación, además cabe mencionar que el Talud N° 1 presenta humedad.

Figura 5.4 Efecto de la vulnerabilidad



En la **Figura 5.4** se observa los valores obtenidos en la cuantificación de la vulnerabilidad, obteniendo para los tres taludes de estudio el mismo valor debido a que en el área circundante de los taludes no existen edificaciones ni urbanización, solo la carretera.

Para los tres taludes se pudo evidenciar los siguientes resultados de vulnerabilidad:

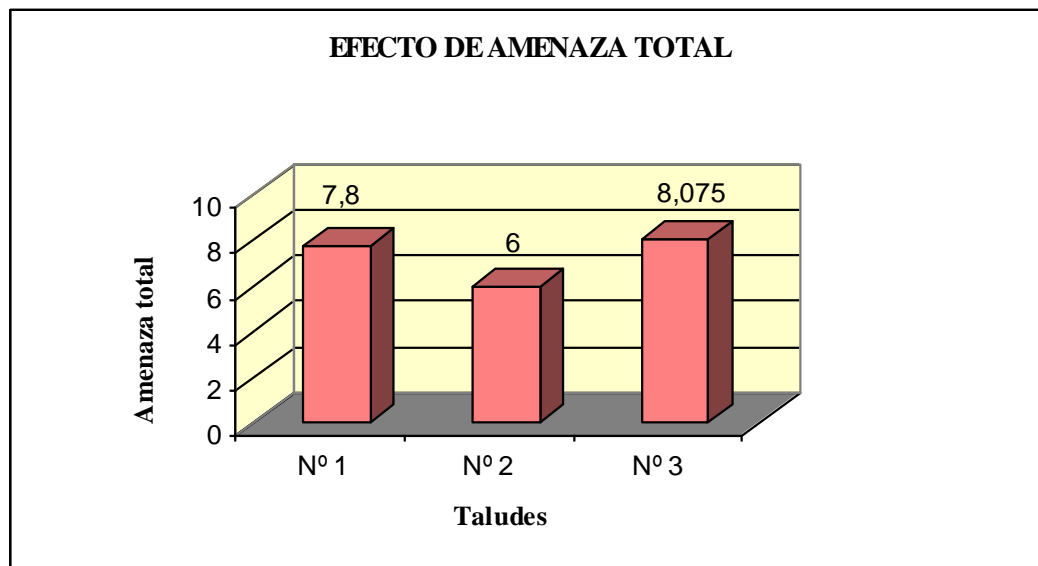
Tabla 5.22 Cuantificación de la Vulnerabilidad

Vulnerabilidad de una persona en un área abierta			
Caso	Rango de Valores Históricos	Valor recomendado	Comentarios
3.- No es sepultado	0.1 - 0.5	0,1	Alta probabilidad de Supervivencia
Vulnerabilidad de la persona en un vehículo			
Caso	Rango de Valores Históricos	Valor recomendado	Comentarios
2.- Si el vehículo es dañado Solamente	0.0 - 0.3	0,3	Alta probabilidad de Supervivencia

Podemos observar en los resultados de la **Tabla 5.22** que la vulnerabilidad ha sido cuantificada en función a dos parámetros, cuando la persona se halla en un área abierta y cuando se halla en un vehículo, los resultados fueron adoptados de acuerdo a un rango de valores debido a la falta de información de esta naturaleza en el tramo mencionado, los valores nos indican una alta probabilidad de supervivencia de las personas que transitan por la carretera.

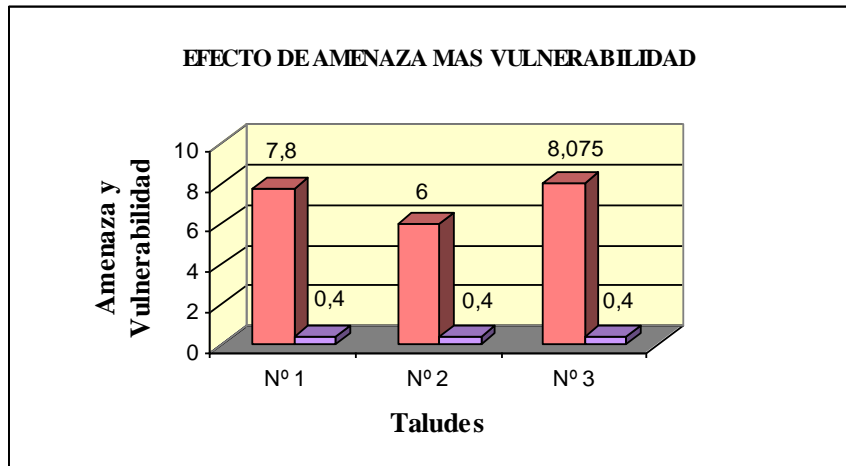
Así mismo, es importante recalcar que la zona no es apta para la construcción de edificios, presenta zonas escarpadas de pendientes elevadas, y por lo tanto el parámetro de vulnerabilidad de una persona en un edificio es nulo.

Figura 5.5 Efecto de amenaza total



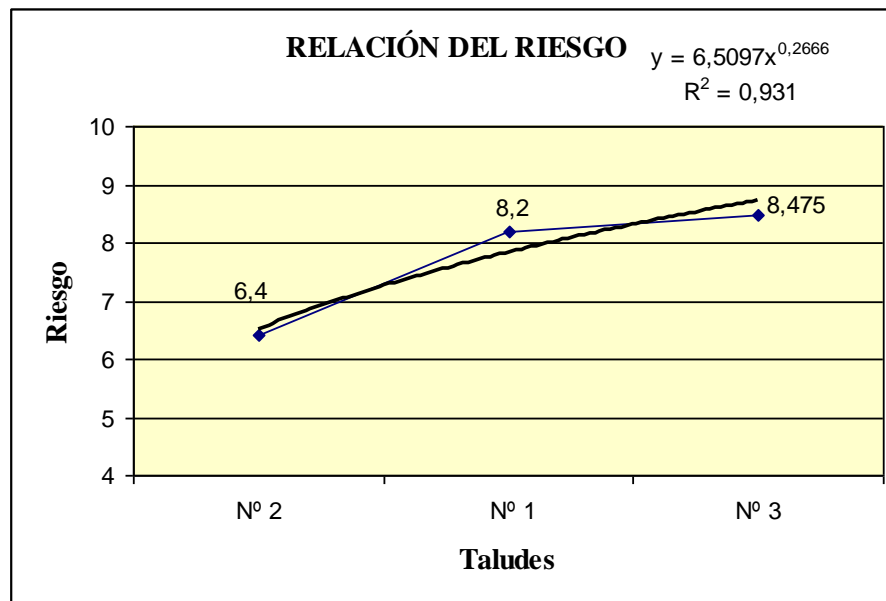
En la **Figura 5.5** se observa los valores obtenidos en la cuantificación de la Amenaza, obteniendo para el Talud Nº 2 Amenaza moderada, conformado el mismo por algunas cárcavas profundas a causa de las precipitaciones, materiales erosionados, donde existen indicios que permiten predecir deslizamientos. Para los Taludes Nº 1,3 se obtuvo Amenaza muy Alta, conformado los taludes por zonas de meteorización alta, discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos y existe la posibilidad de que sigan ocurriendo.

Figura 5.6 Efecto de amenaza mas vulnerabilidad



En la **Figura 5.6** se observa los valores obtenidos en la cuantificación de la amenaza y de vulnerabilidad para los tres taludes, se observa que la amenaza a deslizamiento debida a factores geológicos, topográficos y ambientales influye más en la erosión de los materiales existentes en los taludes en comparación de la vulnerabilidad.

Figura 5.7 Relación del riesgo



En la **Figura 5.7** se observa una diferencia de resultados entre el Talud Nº 2 con los resultados de los Taludes Nº 1,3 puesto que estos últimos tienen una cierta correlación entre los resultados y una semejanza entre los valores obtenidos.

5.6 DIMENSIONAMIENTO DE REFUERZOS CON MALLAS DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA Y HORMIGÓN LANZADO

De acuerdo al análisis de riesgo realizado para los tres taludes de estudio se puede plantear las alternativas de solución para protección superficial de taludes con los tipos de mallas de acero de alta resistencia y hormigón lanzado. Cuando el riesgo es mayor en el talud es recomendable realizar la protección con hormigón lanzado y si el riesgo es menor es aconsejable la protección utilizando mallas de acero de alta resistencia, también cabe recalcar que la utilización de las mallas de acero de alta resistencia resultan mas económicas en comparación con el hormigón lanzado.

TALUD N°1

El talud N° 1 cuya característica fundamental es de que esta constituido en su gran parte de roca sedimentaria degradada cuyas partículas desprendidas se encuentran al pie de talud y como llevan en su constitución parte de lutitas, estas en contacto con el agua se desintegran produciendo finos plásticos que quedan en la superficie de la plataforma. El talud de corte tiene una inclinación de 66° , una altura de 14 metros y una longitud aproximada de 80metros.

De acuerdo al análisis de riesgo el Talud N°1 presenta una amenaza muy alta con un peso total de 7.8 y la vulnerabilidad de 0.4, tomando en cuenta el riesgo y las características del suelo del talud es aconsejable por lo tanto la aplicación de hormigón lanzado, puesto que este tipo de protección reducirá la meteorización de los materiales resultado del origen de agentes atmosféricos existentes en el talud y controlara cualquier desprendimiento de partículas de gran tamaño.

TALUD N°2

El talud N° 2 cuya característica fundamental es que está constituido por material coluvial cuyas partículas no tienen un aglomerante cohesivo y estas por acciones de agua y viento hacen que se pierda las partículas finas, dando lugar al desprendimiento de las piedras de mayor tamaño que se encuentran incrustadas en el cuerpo del talud, las cuales llegan a caer al pie del mismo y sobre la plataforma de la carretera, pudiendo ocasionar accidentes. El talud tiene una inclinación de 63°, una altura de 15 metros y un largo aproximado 120 metros.

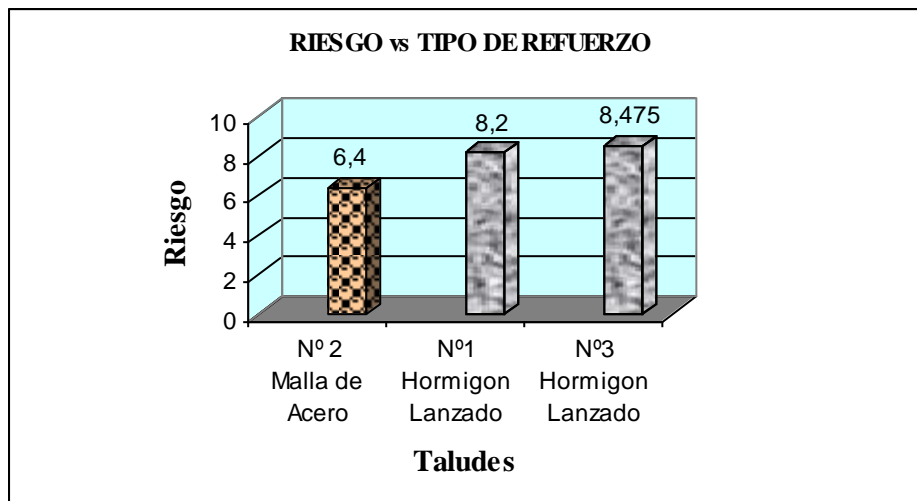
De acuerdo al análisis de riesgo el Talud N°2 presenta una amenaza moderada con un peso total de 6 y la vulnerabilidad de 0.4, tomando en cuenta el riesgo y las características de el suelo del talud es recomendable la colocación de mallas de acero de alta resistencia puesto que este tipo de protección resulta mas económico y evitara que las rocas sueltas presentes en el cuerpo del talud caigan a la calzada de la carretera.

TALUD N°3

El talud N° 3 esta constituido por material de areniscas con algo de lutitas, estas areniscas tienen material cementante, en este caso predominan los carbonatos, que hace que la apariencia del talud sea de una masa sólida, sin embargo, en sus estratos presenta areniscas puras que son las más propensas al desprendimiento. El talud también presenta lutitas que se fracturan por erosión y cuyas partículas desprendidas se encuentran al pie de talud (calzada, cunetas). El talud de corte tiene una inclinación de 72°, una altura de 11 metros, una longitud aproximada de 60 metros, la parte del lado izquierdo del talud presenta buzamiento en los estratos con una inclinación aproximada de 43°.

De acuerdo al análisis de riesgo el Talud N°3 presenta una amenaza muy alta con un peso total de 8.075 y la vulnerabilidad de 0.4, tomando en cuenta el riesgo y las características del suelo del talud es aconsejable por lo tanto la aplicación de hormigón lanzado, puesto que este tipo de protección reducirá el deterioro de los materiales origen de agentes atmosféricos existentes en el talud.

Figura 5.8 Riesgo vs tipo de refuerzo



En la **Figura 5.8** se observa los valores de riesgo obtenidos de la suma de los valores de Amenaza y vulnerabilidad, obteniendo para el Talud N° 2 un valor más bajo, por tanto a menor riesgo menor refuerzo y para los Taludes N° 1,3 se usa mayor refuerzo por que el riesgo es de mayor magnitud. Es importante recalcar que a menor riesgo es aconsejable la protección con mallas de acero de alta resistencia y a mayor riesgo es recomendable el uso de hormigón lanzado para el talud.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.- CONCLUSIONES

El trabajo realizado en la zona permite extractar las siguientes conclusiones:

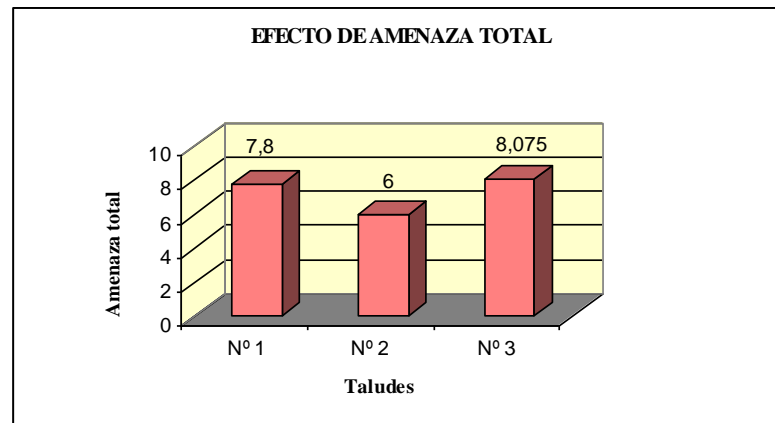
- El modelo efectivo para cuantificar el riesgo en taludes de carretera permitió, con la metodología planteada, obtener los resultados sobre riesgo en los taludes de estudio, constituyendo una mayor garantía para la correcta valoración de posibles deslizamientos y una adecuada ejecución en proyectos donde existan terrenos afectados por este fenómeno.
- Con la metodología planteada se alcanzó en el estudio de los taludes, observar materiales involucrados, distinguir causas probables que activen los deslizamientos a causa de la erosión y luego de ello cuantificar el grado de amenaza y la vulnerabilidad a la que están expuestas los mismos y el riesgo que corren las personas que transitan a lo largo de la carretera que pueden ser objeto de peligro ante los deslizamientos.
- Debido a la complejidad y sobre todo a la no disponibilidad de datos en la región, el riesgo de los taludes ha sido evaluado por medio de dos factores importantes como lo son amenaza y vulnerabilidad por medio de tablas estipuladas por el comité de deslizamientos IUGS, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6.1 Resumen Amenaza y vulnerabilidad

CUADRO RESUMEN		
Talud N° 1	Amenaza muy Alta	7,8
	Vulnerabilidad	0,4
Talud N° 2	Amenaza Moderada	6
	Vulnerabilidad	0,4
Talud N° 3	Amenaza muy Alta	8,075
	Vulnerabilidad	0,4

- En el estudio se constató que dos de los taludes presentan Amenaza Alta a deslizamiento, por lo cuál, se evidencia que casi en su totalidad el tramo de estudio está amenazado con la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor.

Figura 6.1 Efecto de amenaza total



- En cuánto a la vulnerabilidad la metodología, se establece ciertos parámetros para su cuantificación, de los cuáles la vulnerabilidad de una persona en un edificio y en un área abierta son parámetros o variables no cuantificados debido a la no existencia de edificios a lo largo de la zona de estudio y de personas que circulen frecuentemente por la vía ó la zona.
- Con respecto a la vulnerabilidad a la que está expuesta una persona en un vehículo, se observa alta probabilidad de supervivencia debido a que se presentan casos aislados de accidentes severos que puedan afectar tanto a personas como a vehículos, que podría ocurrir en el talud N° 2 cuyas partículas de considerable tamaño se desprenden con mayor frecuencia.
- Los resultados obtenidos en el análisis de riesgo han podido evidenciar que los taludes que presenten discontinuidades considerables, buzamiento en el cuerpo del talud, además que estén formados por arenas son más propensos a deslizamiento, y los que en el estudio demuestran ser los más severos.

- Se pudo observar en la mayoría de los taludes estudiados la falta de vegetación, principalmente están constituídos por terrenos áridos, y uno de ellos cuenta con presencia de agua, lo que origina constante humedad en el terreno.

Fotografía 6.1 Presencia de humedad Talud N°1



Fuente: Elaboración Propia

- Las principales causas que originan los deslizamientos en los taludes de la zona, son las precipitaciones constantes, que originan presiones de poros ocasionando inestabilidades y posterior colapso, la pendiente de los mismos y sin lugar a duda el material por el que están conformados los taludes.

Tabla 6.2 Pendientes

PENDIENTES (°)	
Talud N° 1	66°
Talud N° 2	63°
Talud N° 3	72°

- En el tramo estudiado se evidenció la presencia de deslizamientos, por lo que se requiere urgentes medidas de mitigación y de protección para poder contrarrestar el fenómeno.
- De acuerdo a los resultados de riesgo y a partir del criterio de que los refuerzos en los taludes son proporcionales al mismo, los taludes N° 1 y 3 que

son los que presentan valores más altos les corresponde un mayor refuerzo, por tanto se eligió la protección con HORMIGÓN LANZADO.

- El estudio presenta como resultado del riesgo que el talud N° 2 tiene menor valor, por tanto, le corresponde un refuerzo de menor efecto, por lo que se eligió la alternativa de la MALLA DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA.
- Es muy importante la determinación de los riesgos en taludes con posibilidades a deslizamiento, de manera que cuantificado el riesgo se tenga los elementos técnicos más concluyentes que permitan elegir el tipo de protección, que en el caso de nuestro estudio, sólo tuvo dos alternativas por motivos de tiempo y alcance, sin embargo, en la práctica son posible otras alternativas de acuerdo a los tipos de taludes que se presenten en cada proyecto.
- En cuanto se refiere a costos de las alternativas de protección se han determinado los precios unitarios de manera que nos proporcione una medida de cuantificación como valores, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6.3 Precios unitarios

PRECIOS UNITARIOS (Bs)	
Malla de acero de alta resistencia (m2)	66
Hormigón lanzado (m3)	1762

6.2.- RECOMENDACIONES

- Es un hecho que la zona de estudio necesita de medidas urgentes de protección para contrarrestar el efecto de los deslizamientos, la metodología planteada, brinda una serie de parámetros con sus respectivos valores o pesos, los cuáles engloban ciertas variables y condicionantes, a la vez diferentes situaciones que pueden presentarse al activarse un fenómeno deslizante, puede

ser una buena alternativa para la cuantificación del riesgo y su posterior manejo.

- Como medidas preventivas y/o correctivas se recomienda realizar la protección superficial de taludes por medio de Mallas de acero de alta resistencia y hormigón Lanzado que pueden ser una buena alternativa de protección en la mayoría de los casos.
- El hormigón lanzado resulta un tratamiento superficial innovador y novedoso en nuestro medio, y por sus propiedades como la facilidad para formar una excelente adherencia con varios materiales, por sus características impermeables aun en secciones delgadas, se puede obtener buenos resultados, siendo una buena opción para protección en los taludes estudiados.
- Para que el hormigón lanzado tenga durabilidad y una excelente adherencia, debe ser aplicado correctamente, para conseguir estas propiedades favorables se debe realizar una correcta planeación y supervisión, de la habilidad y atención continua del equipo de hormigón lanzado, como también de la correcta utilización de los materiales en la dosificación.
- Las mallas de acero de alta resistencia 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.
- Para la elección del tipo de protección de taludes es necesario escoger la que más se adecue al tipo de deslizamiento y al lugar o zona donde puede ser emplazado.