

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

En la construcción de carreteras, es inevitable el movimiento de tierras, es así, que en el trazado lineal de la misma, se generan taludes de corte y de relleno, los cuales de acuerdo al tipo de material, es necesario que se mantengan estables, y no se produzcan los llamados deslizamientos; proceso geológico que ocasiona un perjuicio en el buen funcionamiento de la vía, y en el peor de los casos la pérdida de vidas humanas.

Si la componente de la gravedad es suficientemente grande ocurrirá la falla del talud, sea este natural o construido; es decir, la masa de suelo se deslizará hacia abajo. Una herramienta muy utilizada en la ingeniería es determinar el factor de seguridad, asumiendo superficies probables de falla.

En la etapa de diseño de una carretera, la determinación de la estabilidad de los taludes de corte y relleno, permite sectorizar la misma, determinando de esta manera las medidas que garanticen la estabilidad de la vía para cada sector. En tramos ya construidos, la determinación del factor de seguridad, permitirá de igual manera, sectorizar o zonificar la vía; evaluando la estabilidad de los taludes actuales o en su caso optimizar, o mejorar las condiciones de los mismos.

En la actualidad, se ha realizado muchos avances en la comprensión de los factores que influyen en los deslizamientos, aceptando que existen factores que no pueden ser cuantificados en los modelos matemáticos actuales, los que a pesar de sus debilidades, es una herramienta muy utilizada para la toma de decisiones. Se estudian

conceptos tales como susceptibilidad, amenaza y riesgo, elementos que son determinados por un equipo multidisciplinario; la combinación de varias disciplinas y la ambigüedad de la metodología hacen que se use para el presente trabajo los factores más conocidos y el uso de modelos matemáticos que nos proporcionan la obtención del factor de seguridad.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Los taludes, de las carreteras de nuestro departamento; en la época seca se mantienen estables mientras que en la época de lluvias son proclives a deslizarse. Es por esto conveniente la evaluación del factor de seguridad de los mismos.

Valoraciones efectuadas en otros países, donde se realiza la sistematización de la información, se ha estimado que las muertes causadas por deslizamientos es del orden de 25 personas por año (Krohn y Slosson, 1976 y Bromhead, 1986); Según Brabb, 1989; las pérdidas en un 90% pueden ser evitables, si se identifica el problema con anterioridad y se toman medidas de prevención o control (Díaz, 1998).

En el valle central de Tarija se hace evidente el proceso erosivo de los suelos, lo que influye positivamente en la inestabilidad de los taludes. Los caminos en la sociedad juegan un rol importante en el desarrollo de los pueblos, por lo que mantenerlos transitables todo el año, requieren un mantenimiento muy costoso; es por eso que se requiere realizar estudios que permitan tomar decisiones antes de que se presenten los deslizamientos.

En el tramo de Tolomosa Centro – Tolomosa Sud, se puede observar taludes con pendientes mayores a 60°, aunque no se tienen indicios de deslizamientos graves, el análisis del factor de seguridad, puede ayudar a tomar decisiones que ayuden a prevenir el colapso de los mismos; o si no presentan inestabilidad evaluar si el factor de seguridad es el más adecuado o si son demasiado conservadores.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Como objetivo general se plantea:

- Zonificar en base al factor de seguridad y factores físicos, los taludes que se encuentran en el tramo Tolomosa Centro – Tolomosa Sud, estimando cualitativamente el grado de amenaza a deslizamiento del tramo; para obtener el ángulo óptimo de los mismos, tomando en cuenta aspectos técnicos y económicos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Se pretende alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Identificar el tipo de deslizamiento y proceso de deterioro en los taludes de corte del tramo de estudio
- Determinar el tipo de suelo de los taludes de corte, del tramo de estudio.
- Identificar las características topográficas, geomorfológicas, ambientales y geotécnicas de los taludes de corte que se hallan dentro del tramo en estudio.
- Determinar la resistencia al corte de las masas de suelo que forman el talud.
- Estudiar los ábacos de Taylor para el análisis de estabilidad de taludes.

- Determinar el factor de seguridad de los taludes de corte que se hallan dentro del tramo.
- Estudiar los fenómenos que afectan en la estabilidad de los taludes
- Realizar una comparación de costos
- Proponer recomendaciones y conclusiones al tema

1.4 HIPÓTESIS

Todos los taludes del tramo tienen factores de seguridad muy conservadores.

1.5 ALCANCE DEL ESTUDIO

- Se extraerán muestras representativas, inicialmente el tramo será dividido en tres partes, inicio, centro y final, obteniendo un mínimo de 3 muestras, las cuales serán representativas de los taludes de corte que componen el tramo, asimismo se obtendrán 3 probetas (adicionales) del talud de corte más alto.
- Se determinara las propiedades de los materiales que conforman el suelo, para tal objetivo, se realizaran los siguientes ensayos de laboratorio:
 - Análisis mecánico del suelo, mediante cribado para la fracción gruesa del suelo y análisis hidrométrico para la fracción fina.
 - Peso específico del suelo (g)
 - Límite líquido (LL)

➤ Limite plástico(LP)

- Obtenidos los resultados de los ensayos de laboratorio, se procederá a la clasificación de suelos, utilizando los sistemas conocidos, tales como la clasificación unificada de suelos y AASHTO.
- La resistencia al corte del suelo, se determinara realizando la prueba de compresión simple, sobre probetas inalteradas, las que son extraídas y son representativas de los taludes que componen el tramo.
- Debido a la imposibilidad de determinar en campo y además porque no se observa; se asumirá que no hay presencia del nivel freático.
- Mediante el modelo matemático propuesto por Taylor, se obtendrá el factor de seguridad.
- No se considera la aceleración sísmica en la evaluación del factor de seguridad pero si se escoge un valor del factor de seguridad que tome en cuenta la no consideración del fenómeno natural.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 TIPOLOGÍA Y DESARROLLO DE LOS MOVIMIENTOS

2.1.1 NOMENCLATURA DE UN TALUD O LADERA

Una superficie de terreno expuesta, situada a un ángulo con la horizontal se denomina talud. Los taludes pueden ser naturales o artificiales; si su conformación actual tuvo como origen un proceso natural, son llamados laderas y si fueron conformados artificialmente, se les denomina más propiamente como talud. (Figura 2.1).

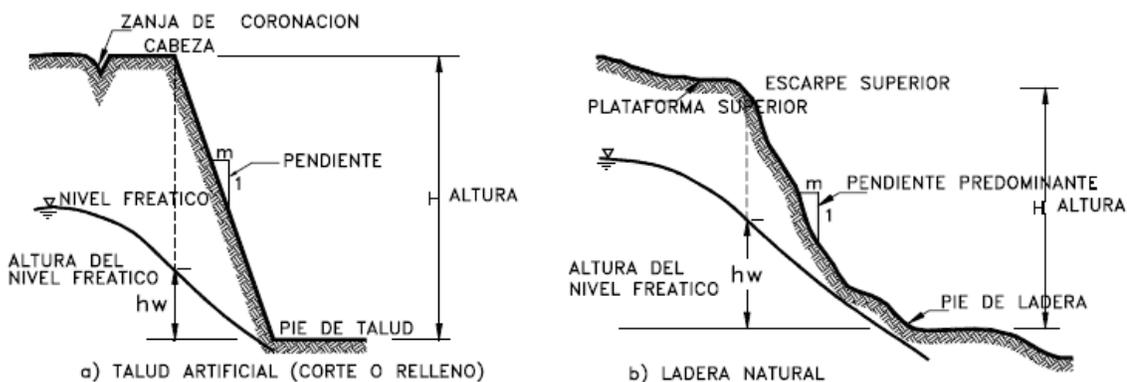


Fig.2.1 Nomenclatura a) talud artificial, b) ladera natural

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

1. Altura

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

2. Pie

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

3. Cabeza o escarpe

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

4. Altura de nivel freático

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

5. Pendiente

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

El manual de diseño geométrico de carreteras Vol. 1 de la ABC, estipula que: taludes con inclinación menor que 1:1 la pendiente se expresa como la relación de una unidad vertical a un número de unidades horizontales; si la inclinación es mayor, la pendiente se debe expresar como la relación de un número de unidades verticales a una unidad horizontal.

Los problemas que se producen tanto en taludes naturales y artificiales, ha sido objeto de análisis, especialmente en el campo de la ingeniería civil.

El termino más común para designar los movimientos ocurridos en los taludes es el de deslizamiento, termino definido por Cruden 1991 como: "el movimiento de una masa de roca, tierra o detritos pendiente abajo".

Un deslizamiento ocurre cuando se rompe o pierde el equilibrio de una porción de los materiales que componen un talud y se deslizan pendiente abajo por acción de la gravedad. Aunque los deslizamientos usualmente suceden en taludes escarpados, tampoco es raro que se presenten en laderas de poca pendiente. Son primariamente ocasionados por fuerzas gravitacionales, y resultan de una falla por corte a lo largo de la frontera de la masa en movimiento, respecto a la masa estable; se alcanza un estado de falla cuando el esfuerzo cortante medio aplicado en la superficie potencial de deslizamiento, llega a ser igual a la resistencia al esfuerzo cortante del suelo o roca.

2.1.2 MORFOLOGÍA Y PARTES DE UN DESLIZAMIENTO

En un deslizamiento se suelen distinguir varias partes, aunque no todas se desarrollen de igual forma en los diferentes tipos Incluso existen ciertas particularidades morfológicas propias de cada tipología.

La fig. 2.2a muestra un típico deslizamiento rotacional, con las diferentes partes y su nomenclatura.

Los términos son:

1. *Corona*: El material que aún permanece en su lugar, prácticamente no desplazado y adyacente a las partes más altas de la escarpa principal.
2. *Superficie original del terreno*: Es la superficie inclinada o talud de una ladera antes de que ocurra el movimiento o deslizamiento.

3. *Hombro*: Es la zona que se encuentra en la transición de la superficie inclinada o talud de una ladera y la corona.

4. *Pie de la ladera*: Parte más baja de la ladera.

5. *Pie de la superficie de falla*: La línea de intersección (en ocasiones cubierta) entre la parte inferior de la superficie de falla y la superficie original del terreno.

6. *Escarpa principal de falla*: Es el escalón o superficie abrupta localizada en la parte superior de la ladera y contigua a la corona; resulta del movimiento del talud pendiente abajo y forma parte de la superficie de falla.

7. *Superficie de falla o de ruptura*: Zona o lugar geométrico donde se rompe o pierde el equilibrio de una porción de los materiales que componen una ladera y se deslizan ladera abajo por la acción de la gravedad, separándose de la ladera remanente.

8. *Cuerpo principal*: Aquella parte del material desplazado sobre la superficie de ruptura; en ocasiones ese material permanece sobre la superficie de deslizamiento (falla contenida), pero otras veces se “vacía” totalmente, dando como resultado los flujos.

9. *Flanco*: El costado de un deslizamiento de tierras. Se indica derecho o izquierdo, refiriéndose al deslizamiento observado desde la corona.

10. *Zona de acumulación o base*: El área dentro de la cual el material desplazado queda encima de la superficie original del terreno; esto es el área cubierta por el material fallado, abajo del pie de la superficie de falla.

11. *Plataforma*: Porción superior del talud más allá de la corona.

12. *Punta o uña*: El punto de la base del deslizamiento que se encuentra más distante de la corona.

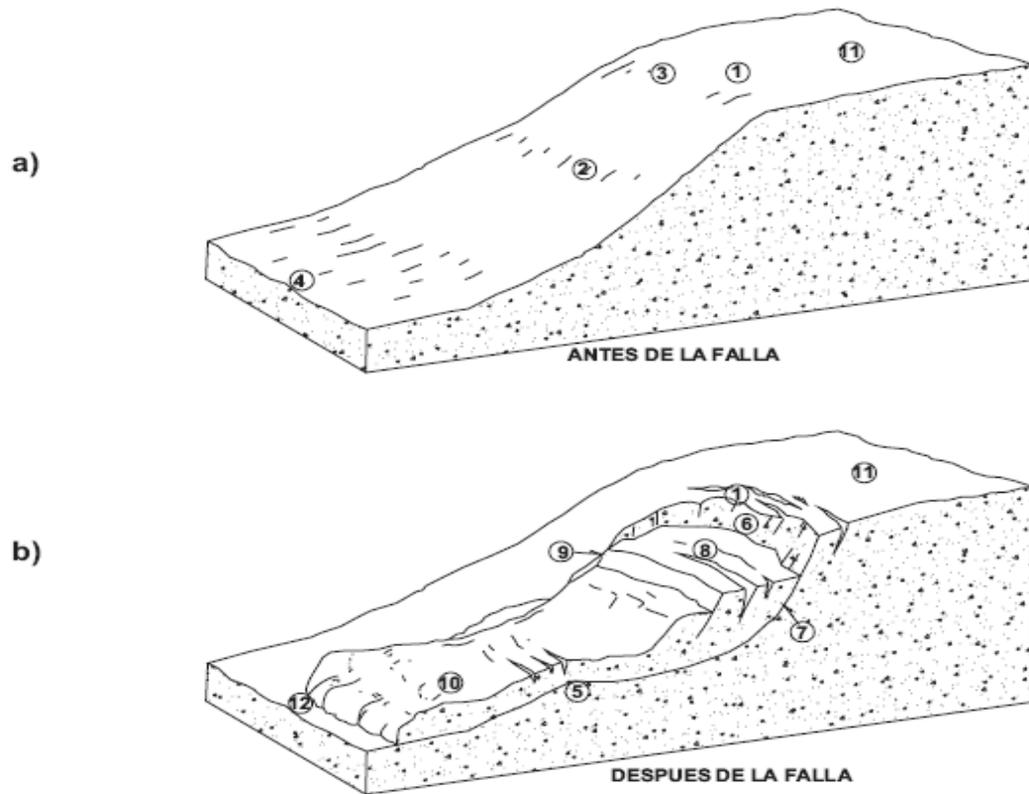


Fig. 2.2. Definición de las características y partes que componen a) una ladera y b) eventualmente un deslizamiento.

2.1.3 TIPOS DE MOVIMIENTOS

Los tipos de movimiento son los siguientes:

- Caídos o derrumbes
- Deslizamientos
- Flujos
- Desplazamiento lateral y
- Movimientos complejos

Algunos deslizamientos son rápidos por que ocurren en segundos, mientras que otros pueden tomar horas, semanas, meses, o aun lapsos mayores para que se desarrollen.

Caídos o derrumbes

Movimientos abruptos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes muy fuertes y acantilados, fig. 2.3a, por lo que el movimiento es prácticamente de caída libre, rodando y rebotando; incluye:

Desprendimientos: Caída de suelos producto de la erosión o de bloques rocosos, atendiendo a discontinuidades estructurales (grietas, planos de estratificación o fracturamiento) proclives a la inestabilidad.

Vuelcos o volteos: Caída de bloques rocosos con giro hacia adelante y hacia afuera, propiciado por la presencia de discontinuidades estructurales (grietas de tensión, formaciones columnares, o diaclasas) que tienden a la vertical.

Deslizamientos

Movimientos de una masa de materiales térreos pendiente abajo, sobre una o varias superficies de falla delimitadas por la masa estable o remanente de una ladera, fig. 2.3b. Por la forma de la superficie de falla, se distinguen:

Rotacionales: Deslizamientos en los que su superficie principal de falla resulta cóncava hacia arriba (forma de cuchara o concha), definiendo un movimiento rotacional de la masa inestable de suelos y/o fragmentos de rocas con centro de giro por encima de su centro de gravedad. A menudo estos deslizamientos rotacionales ocurren en suelos arcillosos blandos, aunque también se presentan en formaciones de rocas blandas muy intemperizadas.

Traslacionales: Deslizamientos en los que la masa de suelos y/o fragmentos de rocas se desplazan hacia afuera y hacia abajo, a lo largo de una superficie de falla más o menos plana, con muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Usualmente determinan deslizamientos someros en suelos granulares, o bien están definidos por superficies de debilidad en formaciones rocosas, tales como planos de estratificación, juntas y zonas de diferente alteración o meteorización de las rocas, con echado propicio al deslizamiento.

Flujos

Movimientos de suelos y/o fragmentos de rocas pendiente abajo de una ladera, en donde sus partículas, granos o fragmentos tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla, fig. 2.3c. Los flujos pueden ser de muy lentos a muy rápidos, así como secos o húmedos; pueden distinguirse:

Flujos de lodo: Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de arena y limo, y partículas arcillosas.

Flujos de tierra o suelo: Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de grava, arena y limo.

Flujos o avalancha de detritos: Movimiento rápido de una mezcla en donde se combina suelos sueltos, fragmentos de rocas, y vegetación con aire y agua atrapados, formando una masa viscosa o francamente fluida que fluye pendiente abajo.

Creep o flujo muy lento: A diferencia de los casos anteriores, es un movimiento constante pero muy lento de suelos y rocas pendiente abajo, en el que no se define con precisión la superficie de falla.

Lahar: Flujo de suelos o detritos que se origina en las laderas de un volcán, generalmente disparado por lluvias intensas que erosionan depósitos volcánicos, deshielo repentino por actividad volcánica, o bien por rotura o desbordamiento de represas de agua.

Desplazamiento lateral

Los desplazamientos laterales consisten en movimientos de masas térreas que ocurren en pendientes muy suaves, que dan como resultado desplazamientos casi horizontales. Con frecuencia son causados por licuación, donde los sedimentos sueltos y saturados (arenas y limos) se transforman en un estado fluido, por las vibraciones de un sismo.

Movimientos complejos

Son el resultado de la combinación de más de un tipo de los diferentes movimientos definidos anteriormente.



Fig. 2.3 Tipos de Movimientos

2.1.4 FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES

En los movimientos de taludes, es importante reconocer los factores que condicionan la estabilidad de un talud, y aquellos otros que actúan como desencadenantes.

La gran variedad de movimientos en los taludes es reflejo de la diversidad de factores que pueden originarlos. Se describen a continuación algunos de los factores más importantes que influyen en la estabilidad de los taludes.

2.1.4.1 FACTORES NATURALES

Entre los factores naturales podemos mencionar los siguientes:

- El agua
- Hielo y nieve
- Sismicidad y vulcanismo
- Actividad biológica

El agua

Constituye el agente natural de mayor incidencia como factor condicionante y desencadenante en la aparición de inestabilidades.

Dadas las diversas formas en que se presenta en la naturaleza, se describen los efectos que produce según su procedencia.

a) Ríos y Oleaje

La acción de las corrientes de agua, especialmente en las máximas crecidas, debido a su fuerza erosiva, produce socavaciones en el pie de los taludes, quitando de esta manera la base de soporte, incrementándose el esfuerzo de corte en los materiales.

El poder erosivo y de transporte de las corrientes, constituyen un gran factor desencadenante tendiendo a conseguir el perfil de equilibrio de las laderas de los valles por los que discurre.

b) Aguas subterráneas

Se consideran como tales, las corrientes y niveles subterráneos y el agua distribuida en el interior de la red de fracturación de un macizo rocoso o de forma intersticial en los suelos.

La presencia de aguas subterráneas, ejercen una serie de disoluciones y otros cambios físicos – químicos en el terreno, que disminuyen las características resistentes del mismo.

c) Lluvia

La intensidad y duración de las lluvias, como también de la lluvia acumulada, constituye un factor desencadenante en la inestabilidad de taludes y laderas.

El impacto de las gotas de lluvia sobre los suelos produce salpicaduras que levantan y dejan caer las partículas, tendiendo a transportarlas hacia niveles inferiores de la vertiente.

Las lluvias provocan un aumento de las subpresiones del terreno al infiltrarse por discontinuidades y grietas, y produce una sobrecarga debida a su peso propio.

Hielo y nieve

El repetido crecimiento y fusión del hielo en que se transforma el agua intersticial del terreno y la contenida en las discontinuidades, produce una disgregación mecánica de la estructura del mismo. Esta se traduce en una reducción de la cohesión y

ensanchamiento de las discontinuidades condicionando el terreno ante la acción de otros factores.

Las acumulaciones de nieve en algunos puntos producen sobrecarga y aumentan el contenido en agua del terreno durante la fusión, dando paso a la acción específica del agua.

Sismicidad y vulcanismo

Ocupa un lugar muy importante en los factores que activan o disparan inestabilidades de laderas. De acuerdo a una estadística mundial, los 25 deslizamientos mas catastróficos ocurridos en el siglo XX (Schuster, 1996), el 36% de ellos fueron disparados por acciones sísmicas; solo 4% por debajo de las lluvias.

Cuando ocurre un sismo se generan una serie de vibraciones, que se propagan como ondas de diferente frecuencia. La aceleración, vertical y horizontal asociada a estas ondas, origina una fluctuación del estado de esfuerzos en el interior del terreno afectando el equilibrio de los taludes.

Así se puede producir una perturbación de la trabazón intergranular de los materiales, disminuyendo su cohesión. En algunas arenas finas saturadas sin drenaje y arcillas, el desplazamiento o rotación de los granos puede dar como resultado una súbita licuefacción del suelo, como consecuencia de un incremento de presión del agua intersticial.

Los volcanes en actividad llevan asociados movimientos sísmicos de características específicas en cuanto a intensidad, frecuencia, etc. Originan modificaciones en las laderas que forman sus conos y en los materiales depositados sobre los mismos (hielo, nieve, derrubios, etc.)

El campo de esfuerzos existentes en los conos volcánicos puede modificarse como resultado de una dilatación de las cámaras magmáticas, cambios en el nivel del magma de los mismos y aumento de los temblores armónicos que continuamente se dan. Dichos fenómenos alteran el equilibrio de los taludes que rodean a los cráteres, produciendo generalmente fallas y colapsos.

Actividad biológica

No constituye un factor determinante, pero sí un factor condicionante para la acción de otros factores.

La vegetación, en sus aspectos positivos y negativos, favorecen la estabilidad de las laderas y taludes, pues la cubierta vegetal sirve de unión entre componentes de los suelos, contribuyendo también al drenaje, absorbiendo parte del agua contenida en el terreno y atenúa la degradación superficial del mismo, dificultando la acción de otros factores.

En su aspecto negativo, existen raíces, capaces de disgregar el terreno, actuando a modo de cuñas en fisuras y grietas; provocando el desplazamiento de bloques de magnitud considerable.

La ausencia de protección vegetal en los taludes, incide adversamente en el régimen de agua en las capas más superficiales, contribuyendo a la actuación de otros factores desestabilizadores.

La actividad de organismos animales, contribuyen en menor medida a crear inestabilidades.

2.1.4.2 ACTIVIDAD HUMANA

Los países para lograr su desarrollo, necesitan crear una infraestructura adecuada; la actividad humana generada incide mucho en los movimientos de los taludes. Aunque

estos generalmente tienen consecuencias de menor entidad que los producidos por causas naturales, a veces producen daños de mayor cuantía.

Los campos más importantes son la minería y las obras civiles, los que por un lado procuran la obtención de los recursos naturales y el otro campo permite obtener los servicios necesarios para su transformación y distribución.

Excavaciones

Constituyen uno de los factores desencadenantes más extendidos, debido a la necesidad de las mismas en las obras civiles (desmontes, túneles, etc.).

Producen una variación del estado de equilibrio del terreno, traduciéndose en descalces de potenciales superficies de deslizamiento, desequilibrio de masas, etc.

Voladuras

Las voladuras, pueden actuar como desencadenantes de los movimientos, condicionando y disminuyendo la estabilidad de los macizos rocosos.

Los efectos inmediatos son los derivados de las características de la onda que se propaga y de los gases que se originan. El comportamiento del terreno, como medio transmisor, depende de sus características resistentes a la tracción, existencia de discontinuidades que supongan superficies de reflexión de onda, contenido en agua, etc.

En la actualidad, existen técnicas suficientemente desarrolladas, que limitan los riesgos derivados del uso de las voladuras.

Sobrecargas

Es un factor condicionante de los movimientos que modifican el entorno natural en el que se produce dicha acción.

Es el resultado del incremento de peso, debido a diversos tipos de construcciones, sobre el terreno natural. Así, la construcción de rellenos y terraplenes, acopios de materiales de diversa índole, etc. También puede producirse por el peso del agua infiltrada en el terreno, como consecuencia de fugas en conducciones, alcantarillado, canales, depósitos, etc.

El efecto producido es, generalmente, un incremento del esfuerzo de corte del terreno y cuando se trata de suelos con alto contenido en arcilla, se origina un aumento de la presión intersticial. De esta forma se modifican las condiciones de equilibrio existentes en el terreno, pudiendo darse diferentes tipos de movimientos.

Actividad minera

Incluye la explotación de canteras, minería a cielo abierto y subterránea. Las dos primeras, participan de los riesgos descritos en Excavaciones, aumentados por el carácter provisional de los taludes excavados, principalmente en los comienzos de las explotaciones.

La explotación subterránea ha sido causa de movimientos importantes en la superficie. La degradación que sufren las cámaras y galerías de explotaciones abandonadas puede conducir a hundimientos de las mismas.

2.2 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas solidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacios entre las partículas solidas.

También puede definirse como aquellos materiales naturales disgregables fácilmente, bien mediante agitación física (relativamente poco intensa), o bien mediante agentes químicos “suaves” (por efecto del agua o por dispersantes “suaves”). (IGME 1986).

De acuerdo a (HUNT 1982), se entiende por suelo “un agregado natural de partículas discretas, o de granos, consecuencia de la alteración geológica de las rocas.

2.2.1 TIPOS DE SUELOS

Los suelos pueden ser Residuales o Transportados; el suelo residual, permanece donde se forman y cubren la superficie rocosa de la que se derivan; son el producto de la meteorización de las rocas y su comportamiento depende de las propiedades de la roca original y el grado de descomposición.

Los deslizamientos de tierra son muy comunes en suelos residuales, especialmente en los periodos de lluvias intensas.

Los suelos transportados, según el agente de transporte, se subdividen en tres categorías principales.

- ❖ Suelos aluviales, depositados por agua en movimiento cuando la velocidad del agua ha disminuido, estos materiales pueden ser de origen fluvial o lacustre y pueden contener partículas finas, gruesas o entremezcladas, generalmente son estratificados y la permeabilidad en la dirección horizontal es mayor que en la dirección vertical.

- ❖ Suelos glaciales, son transportados por los glaciales, los cuales al aumentar la temperatura, se deshuelan y se forman estos depósitos de suelo de origen glacial
- ❖ Suelos eólicos, son transportados por el viento y varían desde Dunas de arena hasta Loess, que son depósitos de arena fina y limos. Generalmente tienen muy poca vegetación y los materiales son muy ricos en cuarzo y poco densos.

Adicionalmente a los suelos transportados y residuales, podemos mencionar las turbas y coluviones.

Las turbas se derivan de la descomposición de materiales orgánicos encontrados en áreas de poca altura donde el nivel freático está cerca o arriba de la superficie del terreno. Cuando un porcentaje relativamente grande de turba se mezcla con suelo inorgánico, se le denomina suelo orgánico; estos suelos orgánicos tienen la característica de un contenido natural de agua de entre 200% y 300% y son altamente compresibles.

Los suelos coluviales o coluviones son depósitos de ladera, producto de desprendimientos o deslizamiento de roca o suelo y son materiales muy susceptibles a los deslizamientos.

2.2.2 TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELO

Independientemente del origen del suelo, los tamaños de las partículas, en general, que conforman un suelo, varían en un amplio rango. Los suelos en general son llamados grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas.

En la tabla 2.1 se muestran los límites de tamaño de suelo separado, desarrollados por varias organizaciones, siendo el sistema unificado universalmente aceptado.

Tabla 2.1
Límite de tamaño de suelos separados

Nombre de la Organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Inst. Tec. De Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
AASHTO	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
SUCS-ASTM	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcillas) <0.075	

Fuente: Braja M. Das "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica"

2.2.3 ANÁLISIS DEL SUELO

Para analizar una muestra de suelo con la finalidad de clasificarlo de acuerdo a sistemas que se mencionan en el apartado 2.2.4., se realizan los siguientes ensayos de laboratorio los cuales pueden considerarse como ensayos índice.

- Análisis mecánico del suelo
- Contenido de humedad
- Peso específico
- Límites de consistencia

El análisis mecánico, se divide en:

- Análisis por cribado
- Análisis por Hidrómetro

Análisis por cribado, consiste en sacudir la muestra de suelo a través de un conjunto de mallas que tienen aberturas progresivamente más pequeñas. Los números de las mallas estándar con sus tamaños de abertura se dan en la tabla 2.2.

Tabla 2.2
Tamaño de mallas estándar
en Estados Unidos

Malla N°	Abertura (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075

Fuente: Braja M. Das
"Fundamentos de Ingeniería Geotécnica"

Análisis hidrométrico, se basa en la sedimentación de granos de suelo en agua. Cuando una muestra de suelo se dispersa en agua, las partículas se asientan a diferentes velocidades, dependiendo de sus formas, tamaños y pesos.

Contenido de humedad, es la suma de las aguas, libre capilar e higroscópica, referido al peso del material seco:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{\text{Peso muestra húmeda} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra seca}} \times 100$$

Peso específico, o gravedad específica de un suelo, es la relación entre el peso, al aire, de sus partículas minerales y el peso, al aire, del agua destilada, considerando un mismo volumen y una misma temperatura.

Limites de consistencia, cuando existen minerales de arcilla en un suelo de grano fino, este puede ser remodelado en presencia de alguna humedad sin desmoronarse.

Por tanto, dependiendo del contenido de agua, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos denominados sólido, semisólido, plástico y líquido.

El contenido de agua, en porcentaje, en el que la transición de estado sólido a semisólido tiene lugar, se define como el límite de contracción. El contenido de agua en el punto de transición de estado semisólido a plástico es el límite plástico, y de estado plástico a líquido es el límite líquido. Esos límites se conocen como límites de Atteberg.

2.2.4 SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN

Actualmente los sistemas más utilizados son el AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, los que clasifican el suelo de acuerdo a la distribución por tamaño de grano y la plasticidad.

2.2.4.1 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO

El sistema de clasificación AASHTO actualmente en uso, se muestra en la tabla 2.3 y 2.4, este sistema desarrollado inicialmente en 1929, ha sufrido varias revisiones siendo la actual la propuesta por el Committee on Clasification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads of the Highway Research Board en 1945.

De acuerdo a este sistema los suelos se clasifican en siete grupos mayores, A-1 a A-7, el sistema se basa en criterios tales como el tamaño del grano y plasticidad de la muestra.

Tabla 2.3
Clasificación AASHTO

Clasificación General	materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla N°200)						
Grupo	A-1		A-3	A-2			
Subgrupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis por cribado (% que pasa las mallas)							
N°10	50 max.						
N°40	30 max.	50 max.	51 min.				
N°200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Características de la fracción que pasa la malla N°40							
limite liquido				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Indice de plasticidad	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos de materiales componentes significativos	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
tasa general de los subrasantes	De excelente a bueno						

Fuente: Braja M. Das "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica"

Tabla 2.4
Clasificación AASHTO

Clasificación General	materiales limo arcilla (mas del 35% de la muestra que pasa la malla N°200)			
Grupo	A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupo				A-7-5*
Analisis por cribado (% que pasa las mallas)				
N°10				
N°40				
N°200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características de la fracción que pasa la malla N°40				
limite liquido	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Indice de plasticidad	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos de materiales componentes significativos	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
tasa general de los subrasantes	de mediano a pobre			
* Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$				
† Para A-7-6, $PI \geq LL - 30$				

Fuente: Braja M. Das "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica"

Como complemento a la clasificación, se definió el índice de grupo que se determina mediante la expresión siguiente:

$$IG = (F-35)[0.2+0.005(LL-40)]+0.01(F-15)(IP-10)$$

IG= índice de grupo

F= porcentaje que pasa la malla N°200

IP= índice de plasticidad

Este índice toma valores enteros entre 0 y 20 (o más), correspondiendo los menores a los mejores suelos.

2.2.4.2 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

En la tabla 2.5 se presenta el sistema unificado de clasificación de suelos; propuesto originalmente por Casagrande en 1942, para usarse en la construcción de aeropuertos emprendida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU, el mismo posteriormente fue revisado en 1952 y es actualmente muy utilizado por los ingenieros.

Tabla 2.5 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

DIVISIONES PRINCIPALES		DEL GRUPO	DENOMINACION TIPICA	CRITERIOS DE CLASIFICACION	
SUELOS DE GRANO GRUESO Mas del 50% es retenido en tamalla # 200	GRAVAS 50% o mas de la fraccion gruesa es retenida por la tamalla # 4	GRAVAS LIMPING	GW	Gravas y mezclas grava-arenas bien graduadas, con pocos finos o sin finos	
		GRAVAS CON FINOS	GP	Gravas y mezclas grava-arenas mal graduadas, con pocos finos o sin finos	
		ARENAS mas del 50% de la fraccion gruesa pasa por tamalla # 4	ARENAS LIMPING	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo
			ARENAS CON FINOS	GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla
	ARENAS mas del 50% de la fraccion gruesa pasa por tamalla # 4	ARENAS LIMPING	SW	Arenas y arenas con gravas bien graduadas, con pocos finos o sin finos	
		ARENAS CON FINOS	SP	Arenas y arenas con gravas mal graduadas, con pocos finos o sin finos	
		ARENAS CON FINOS	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	
SUELOS DE GRANO FINO 50% mas pasa por la tamalla # 200	LIMOS Y ARCILLAS limite liquido igual o menor que 50	ML	Limos inorganicos, arenas muy finas polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas		
		CL	Arcillas inorganicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosa, arcillas limosas		
		OL	Limos organicos y arcillas limosas organicas de baja plasticidad		
	LIMOS Y ARCILLAS limite liquido mayor de 50	MH	Limos inorganicos, arenas finas o limos con mica o diatomas, limos elasticos		
		CH	Arcillas inorganicas de elevada plasticidad		
		OH	Arcillas organicas de plasticidad media o elevada		
	SUELOS DE ESTRUCTURA ORGANICA	PT	Turbas, fangos y otros suelos de alto contenido organico	facilmente identificables por la presencia de raices, hojarasca, material vegetal fibroso en descomposicion, así como su color marron oscuro a negro, su olor y su tacto suave y esponjoso	

Clasificación basada en el porcentaje de finos que pasan por la tamalla # 2000
mas del 5%: GW, GP, SW, SP
mas del 12%: GM, GC, SM, SC
de 5 al 12%: casos intermedios que requieren un grupo de doble simbolo

$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$

$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} D_{60}}$ entre 1 y 3

Cuando no se cumplen simultaneamente las dos condiciones para GW

debido de la linea A
o IP < 4
por encima de la linea A
o IP > 7

los casos intermedios requieren doble simbolo

Cuando no se cumplen simultaneamente las dos condiciones para GW

debido de la linea A
o IP < 4
por encima de la linea A
o IP > 7

los casos intermedios requieren doble simbolo

Cuando no se cumplen simultaneamente las dos condiciones para GW

debido de la linea A
o IP < 4
por encima de la linea A
o IP > 7

los casos intermedios requieren doble simbolo

GRAFICO DE PLASTICIDAD para la clasificación de suelos de grano fino y de la fraccion fina de los suelos de grano grueso

EQUACION DE LA LINEA A: IP = 0.73(LL - 20)

Los casos intermedios requieren doble simbolo

Fuente: "Ingeniería de Carreteras" Vol. II Ed. Mc Graw Hill

Este sistema clasifica los suelos en dos amplias categorías:

1.- Suelos de grano grueso, de naturaleza tipo grava y arena, con menos del 50% pasando por la malla N°200, los símbolos de grupo son G y S, donde G significa grava o suelo gravoso; S significa arena o suelo arenoso.

2.- Suelos de grano fino con más del 50% pasando la malla N° 200. Los símbolos de grupo comienzan con el prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicos, el símbolo Pt, se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Otros símbolos utilizados en la clasificación son:

- W: bien graduado
- P: mal graduado
- L: baja plasticidad (LL menor que 50)
- H: alta plasticidad (LL mayor que 50)

Para una apropiada clasificación se debe conocer algo o todo de la información siguiente:

1. Porcentaje de grava, % que pasa la malla de 76.2mm y retenida en la malla N° 4 (abertura de 4.75mm)
2. Porcentaje de arena, % que pasa la malla N°4 y es retenida en la malla N°200 (abertura de 0.075mm).
3. Porcentaje de limo y arcilla, es decir el % que pasa la malla N° 200.
4. Coeficiente de uniformidad Cu y coeficiente de curvatura Cc.
5. Limite liquido e índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa la malla N°40 (abertura 0.425mm).

2.3 RESISTENCIA CORTANTE DEL SUELO

Es la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de la misma.

A lo largo de la hipotética superficie de falla que se suponga, se producen por un lado esfuerzos cortantes que tienden a producir el movimiento, y por otro lado se moviliza la resistencia tangencial que tiende por el contrario a impedirlo.

2.3.1 PRESIÓN TOTAL, EFECTIVA Y PRESIÓN DE PORO (INTERSTICIAL).

Presión total (σ), sobre un plano elemental es la fuerza total por unidad de superficie que actúa sobre dicho plano.

Presión efectiva (σ') es, por definición la que determina la resistencia al esfuerzo cortante. Si se somete un suelo saturado, constituido por partículas sólidas y por agua, a un estado de tensiones, los esfuerzos que se aplican son absorbidos en diferente proporción por estos dos elementos. La proporción de la tensión tomada por el esqueleto sólido es lo que se denomina presión intergranular, que a efectos prácticos coincide con la presión efectiva.

Presión de poro (u), es la parte de tensión absorbida por el agua. Como el agua no puede soportar esfuerzos cortantes siempre tendrá la componente normal.

En síntesis se puede afirmar que:

$$\sigma' = \sigma - u$$

2.3.2 CRITERIO DE FALLA DE MOHR-COULOMB

La teoría de Mohr, afirma que un suelo falla o rompe debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante. La relación funcional entre ambos esfuerzos sobre un plano de falla se expresa de la forma siguiente:

$$\tau_f = f(\sigma)$$

τ_f = esfuerzo cortante sobre el plano de falla

σ = esfuerzo normal sobre el plano de falla

Aunque la envolvente de falla de la anterior ecuación es una línea curva, es suficiente aproximar el esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal, (Coulomb, 1776).

$$\tau_f = c + \sigma \tan \Phi$$

c = cohesión

Φ = ángulo de fricción interno

La relación entre los esfuerzos normales principales es la siguiente:

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

2.3.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Existen varios ensayos que nos permiten determinar las propiedades resistentes de los suelos, los más frecuentes son los siguientes.

Ensayo de Compresión Simple

Es un tipo especial de prueba no consolidada – no drenada, que se utiliza comúnmente para especímenes de arcilla, consiste en someter una probeta de suelo a una compresión uniaxial no confinada, las probetas son circulares con una relación diámetro longitud de 1:2.

Dado que la prueba se realiza con bastante rapidez, puede considerarse como un ensayo de rotura no drenada.

En suelos saturados la cohesión se puede estimar como la mitad de la resistencia a la compresión simple.

Debe tenerse en cuenta que los resultados son expresados en términos de esfuerzos totales, debido a que no se mide ningún tipo de presión de poros y los ensayos en limos o arenas o materiales fisurados no tienen ninguna validez.

El ensayo es solo aplicable a suelos cohesivos que no permiten la salida de agua durante el proceso de carga.

Según los resultados obtenidos, los suelos cohesivos se pueden clasificar atendiendo a su resistencia a la compresión simple q_u como se indica en la tabla 2.6

Tabla 2.6
Consistencia de las arcillas saturadas en función
de la resistencia a la compresión simple

Consist. Del suelo	q_u (Kg/cm ²)
Muy blanda	<0.25
blanda	0.25-0.5
media	0.5-1.00
Firme	1.00-2.00
Muy Firme	2.00-4.00
Dura	>4.00

*Fuente: Terzaghi-Peck
"Mecánica de Suelos en la ingeniería práctica"*

Ensayo triaxial

En esta prueba se aplica una presión sobre el contorno lateral de la probeta y otra distinta según su eje.

Los cilindros de suelo a ensayar tienen diámetros comprendidos entre 3.5 y 7cm, la relación H/D entre la altura del cilindro de suelo y su diámetro, deben estar comprendidas entre 2 y 3, prefiriéndose que sea 2.

La forma clásica de realizar este ensayo, es mantener una presión lateral constante y aumentar la carga vertical hasta la rotura.

Como resultado del ensayo se determina la cohesión y el ángulo de fricción interno del material.

El espécimen o probeta, queda encerrado por una membrana delgada de hule y se coloca dentro de una cámara cilíndrica de plástico que se llena usualmente con agua o glicerina. La probeta queda sometida a una presión de confinamiento por compresión del fluido en la cámara. (El aire es a veces usado como medio de compresión). Para generar la falla cortante en el espécimen, se aplica un esfuerzo axial a través de un embolo vertical de carga (llamado a veces esfuerzo desviador). El esfuerzo se suma en una de dos maneras:

1. Aplicación de pesos muertos o presión hidráulica en incrementos iguales hasta que el espécimen falla. (la deformación axial del espécimen que resulta de la carga aplicada por medio del embolo se mide con un micrómetro)
2. Aplicación de deformación axial a razón constante por medio de una presión de carga con engranes o hidráulica. Esta es una prueba por deformación unitaria controlada. La carga axial aplicada por el embolo correspondiente a una deformación axial dada es medida por un anillo de prueba o celda de carga unida al embolo

El ensayo triaxial permite modificar las condiciones de drenaje y consolidación dando lugar a tres clases de ensayos.

1. Prueba consolidada – drenada o prueba drenada (prueba CD)
2. Prueba consolidada – no drenada (prueba CU)
3. Prueba no consolidada – no drenada o prueba no drenada (prueba UU)

Ensayo de corte directo

Los elementos esenciales de un aparato de corte directo están constituidos por una caja que permite la rotura de la muestra a través de su plano medio. En esta se aplica una fuerza vertical y a continuación una fuerza tangencial que origina un desplazamiento relativo entre las dos partes de la caja.

Se registra la magnitud de las fuerzas tangenciales en función del desplazamiento y generalmente también el cambio de espesor de la muestra.

Mediante este ensayo se determina la cohesión y el ángulo de fricción interno en el plano de rotura con o sin drenaje.

Ensayo de Molinete

Es un ensayo muy útil en la determinación de la resistencia al corte sin drenaje en arcillas y limos blandos. Puede emplearse in situ, aunque es particularmente práctico aplicándolo sobre testigos en laboratorio.

La resistencia se determina a partir del momento de torsión que se necesita para romper el terreno a través de las aristas de la veleta.

Cuando se ha producido la rotura del terreno se puede seguir girando el molinete para amasar el suelo. Un posterior ensayo permite determinar la resistencia sin drenaje del suelo amasado, pudiendo ser indicativo de la susceptibilidad de los suelos arcillosos.

En los suelos que contienen fracciones gruesas pueden existir dificultades en el ensayo, siendo su utilización adecuada en suelos de hasta 1Kp/cm² de resistencia.

2.4 MODELOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

En la actualidad; los modelos matemáticos para realizar el análisis de estabilidad de un talud, se pueden resumir en dos grupos:

- Modelos de cálculo en deformaciones
- Modelos de cálculo del equilibrio límite

Calculo en deformaciones

Se considera en el cálculo las deformaciones del terreno además de las leyes de la estática. Su aplicación práctica es de gran complejidad y el problema debe estudiarse aplicando el método de elementos finitos u otros métodos numéricos.

Calculo del equilibrio límite

Se basa principalmente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No se tienen en cuenta las deformaciones del terreno. Suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte.

Los modelos que se basan en el cálculo del equilibrio límite se pueden agrupar en exactos y no exactos.

Modelos exactos

La aplicación de las leyes de la estática proporciona una solución exacta, pero su aplicación es solo aplicable en casos de geometría sencilla (superficie de rotura asumida) como por ejemplo la rotura planar y rotura por cuñas.

Modelos no exactos

Cuando la forma de la superficie de rotura no permite obtener una solución única, mediante la aplicación de las leyes de la estática, el problema se hace hiperestático, para lo cual se hace alguna simplificación o hipótesis que permita su resolución.

Dentro de estos modelos se pueden distinguir dos procedimientos:

1. Equilibrio global de la masa deslizante
2. Método de las dovelas

El equilibrio global de la masa deslizante, aquí la masa por encima de la superficie deslizante se considera unitaria, esto es útil cuando el suelo que forma el talud se supone homogéneo, lo que no es el caso en la mayoría de los taludes naturales.

Método de la dovelas; el suelo arriba de la superficie de rotura, se considera dividida en varias dovelas verticales paralelas, la estabilidad de cada dovela se calcula separadamente. Es una técnica versátil que toma en cuenta la no homogeneidad del suelo, la presión de poro del agua y la presión normal que actúa sobre la superficie de falla asumida o potencial.

Los métodos de dovelas pueden clasificarse en dos métodos.

Aproximados, no cumplen todas las ecuaciones de la estática, se pueden citar como ejemplos los métodos de Fellenius, Jambu y Bishop simplificado.

Precisos o completos, cumplen todas las ecuaciones de la estática. Los más conocidos son los métodos de Morgenstern-Price, Spencer y Bishop riguroso.

En la tabla 2.7 se muestran modelos de análisis de estabilidad, juntamente con sus características más importantes.

2.5 FACTOR DE SEGURIDAD

El sistema de equilibrio límite supone que en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0.

El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas.

En general el factor de seguridad se define como:

$$FS_s = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Donde: FS_s = factor de seguridad con respecto a la resistencia

τ_f = resistencia cortante promedio del suelo

τ_d = esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla

Tabla 2.7 métodos de análisis de estabilidad

Método	Superficies de falla	Equilibrio	Características
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	De fuerzas	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Factores de seguridad bajos.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es 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. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección F_0 para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.
Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma de la 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.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma de la superficie de falla.	De fuerzas	Asume que las fuerzas entre partículas están inclinadas a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.
Spencer (1967)	Cualquier forma de la 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 la 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.
Sarma (1973)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad. El factor de seguridad estático corresponde al caso de cero coeficiente sísmico. Satisface todas las condiciones de equilibrio; sin embargo, la superficie de falla correspondiente es muy diferente a la determinada utilizando otros procedimientos más convencionales.
Elementos finitos	Cualquier forma de la 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.
Espiral logarítmica	Espiral logarítmica	Momentos y fuerzas.	Existen diferentes métodos con diversas condiciones de equilibrio.

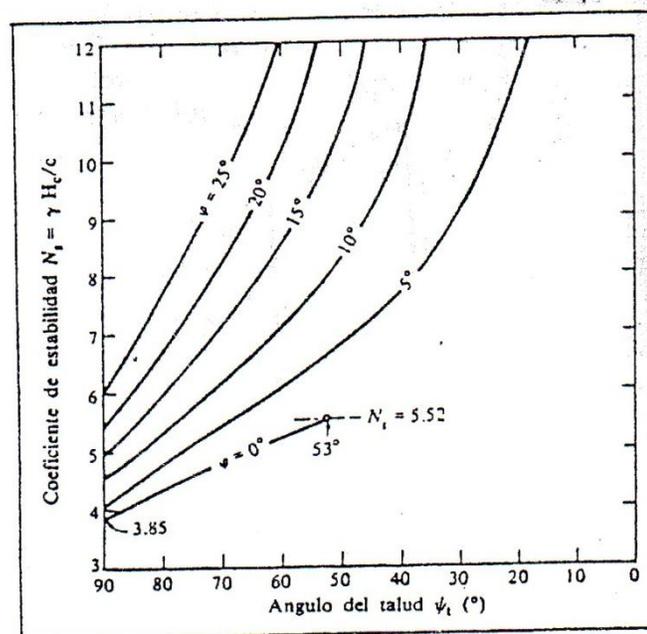
Fuente: Jaime S. Díaz "Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales"

2.6 ÁBACOS DE TAYLOR

El análisis de estabilidad de taludes mediante el método de Taylor (1937) se basa en el método del círculo de rozamiento lo que supone considerar que las tensiones normales en la superficie de deslizamiento se concentran en un único punto.

El análisis se hace en presiones totales, por lo que la cohesión c y el ángulo de rozamiento interno φ han de calcularse en presiones totales, adoptando sus valores efectivos solo cuando el terreno está seco, caso para el que los ábacos de Taylor tienen más utilidad en terrenos con cohesión y ángulo de rozamiento interno. Son también útiles para cálculos de estabilidad a corto plazo en suelos cohesivos (condición $\varphi = 0$).

Fig.2.4 Relación entre N_s , ψ_t y φ



Se considera al terreno homogéneo, esto es, la cohesión y la densidad son constantes en toda la masa del terreno.

Para un determinado valor del ángulo de rozamiento interno φ la altura crítica del talud, supuesto limitado por superficies horizontales, viene dada por la ecuación:

$$H_c = N_s \frac{c}{\gamma}$$

Donde:

H_c = altura crítica del talud

c = cohesión

γ = peso específico del terreno

N_s = coeficiente de estabilidad

El coeficiente de estabilidad N_s es adimensional y depende únicamente del ángulo del talud ψ_t y del ángulo de rozamiento interno φ . En el abaco representado en la figura 2.4 aparecen relacionados N_s, ψ_t , y φ para valores de φ entre 0 y 25° y valores de ψ_t entre 0° y 90°.

Cuando el ángulo de rozamiento interno φ vale 0° es posible el análisis teniendo en cuenta la existencia a una cierta profundidad de una capa dura que imponga un límite a la profundidad alcanzable por los círculos de deslizamiento (rotura por la base).

Para este caso se puede aplicar el ábaco recogido en la figura 2.5 (Taylor 1937), en el que se relacionan N_s, ψ_t y n_d , siendo n_d el coeficiente de profundidad, definido como la relación entre profundidad de la capa dura, medida desde el límite superior del talud, y la altura de este. En la figura 2.5 se aprecia que los círculos más desfavorables pueden ser de tres tipos diferentes:

- Círculo de pie: círculos que pasan por el pie del talud.
- Círculos de talud: círculos que cortan el talud.
- Círculos de base o de punto medio: son círculos tangentes a la base firme cuyo centro está sobre la vertical que pasa por el punto medio del talud.

En la figura 2.5, además del coeficiente de estabilidad N_s , se puede obtener el tipo de círculo más desfavorable para el caso considerado.

Con la ayuda de los ábacos proporcionados y asumiendo las simplificaciones indicadas al comienzo, se puede obtener la altura crítica del talud H_c , a partir del resto de características, resistentes y geométricas, del mismo.

Por otra parte, para un valor dado de la altura H , se puede obtener el valor crítico para cada uno de los restantes parámetros involucrados en el cálculo.

En el caso de $\varphi = 0$ se puede obtener el factor de seguridad de forma directa.

Entrando en el ábaco de la figura 2.5 con los valores de ψ_t y n_d se obtiene un valor de N_s , siendo el factor de seguridad:

$$FS = \frac{c \cdot N_s}{\gamma \cdot H}$$

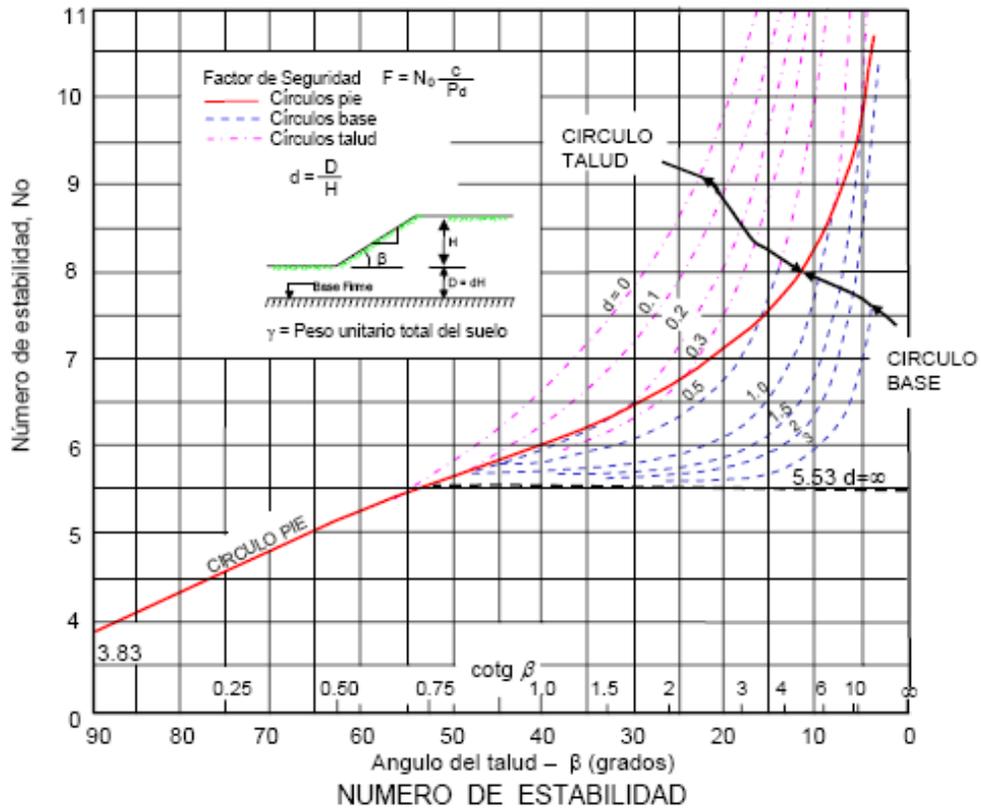
Para $\varphi \neq 0$ el factor de seguridad se ha de obtener mediante tanteos. Comenzando por un valor FS_1 , se entra en el ábaco de la figura 2.4 con el ángulo del talud ψ_t y el siguiente valor de N_s :

$$N_s = \frac{\gamma \cdot H \cdot FS_1}{c}$$

Se obtendrá de esta forma un valor φ_1 que proporciona un nuevo factor de seguridad FS_2 dado por:

$$FS_2 = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_1}$$

Normalmente FS_2 será distinto de FS_1 , después de algunos tanteos se puede obtener $FS_1=FS_2=FS$, factor de seguridad del talud.

Fig. 2.5 Relación entre N_s , ψ_t y nd para suelos sin rozamiento ($\varphi=0$)

2.6.1 VALIDACIÓN DEL MÉTODO

Los ábacos de Taylor, proporcionan un límite inferior del factor de seguridad, obtenido en la suposición de que las tensiones normales en la superficie de deslizamiento se concentran en un único punto.

Lo anteriormente dicho se puede apreciar en anteriores estudios de Tesis, donde compararon los métodos de Spencer y Jambu versus los Ábacos de Taylor, donde se puede apreciar que para un mismo ángulo de inclinación del talud y evaluando el factor de estabilidad mediante ambos métodos y el método de ábacos de Taylor, se obtiene un valor menor del factor de seguridad mediante la aplicación el método de Taylor.

El método de Taylor es un método que también lo hemos considerado entre los más utilizados por su facilidad en el ingreso de los datos de entrada, la facilidad del proceso metodológico y la confiabilidad de los resultados que se obtienen.

El análisis se hace en presiones totales, por lo que la cohesión c y el ángulo de rozamiento interno ϕ han de calcularse en presiones totales, adoptando valores efectivos sólo cuando el terreno está seco, caso para el que los ábacos de Taylor tienen más utilidad en terrenos con cohesión y ángulo de rozamiento interno.

Se considera al terreno homogéneo, esto es, la cohesión, el ángulo de rozamiento interno y la densidad son constantes en toda la masa del terreno.

Por lo que podemos decir que el método es coherente con los parámetros resistentes obtenidos mediante los ensayos de compresión simple y con las características del suelo aluvial que forman los taludes de corte, pudiendo aceptarse la homogeneidad de la masa de suelo.

2.7 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA A DESLIZAMIENTO

La zonificación consiste en la división del terreno en áreas homogéneas y la calificación de cada una de estas áreas, de acuerdo al grado real o potencial de amenaza; en un proyecto vial divide el tramo en estudio, en sub-tramos con el mismo grado real o potencial de amenaza.

En la actualidad, se realizan esfuerzos para anticiparse a los desastres producidos por los deslizamientos de laderas, ya que estos pueden ocasionar pérdidas económicas importantes e incluso se lamentan la muerte de personas.

Para evaluar la amenaza por deslizamientos de taludes, se puede proceder de acuerdo a cuatro métodos:

- a) Con base en la evaluación de un experto.
- b) A partir de análisis estadístico de eventos históricos.
- c) Con base en el análisis de estabilidad que requiere la cuantificación de un factor de seguridad.
- d) Mediante la calificación de los factores físicos internos de la ladera.

Para nuestro proyecto, se usara la metodología propuesta en los incisos c y d, anteriormente se indico el modelo matemático a utilizar para cuantificar el factor de seguridad de los taludes de corte, que se encuentran dentro del tramo escogido para la aplicación práctica del proyecto.

2.7.1 ESTIMACIÓN DE ATRIBUTOS GEOTÉCNICOS, TOPOGRÁFICOS Y AMBIENTALES.

A fin de estimar la amenaza que puede representar el deslizamiento de una ladera, es necesario investigar las condiciones del sitio distinguiendo: a) Los deslizamientos que hayan ocurrido en la zona; b) las peculiaridades topográficas y geomorfológicas; c) las características geotécnicas de los materiales; y d) las condiciones ambientales.

En la tabla 2.8 se presenta algunos criterios para asignar calificaciones a los atributos que determinan la estabilidad de una ladera. Se trata de una metodología de naturaleza cualitativa y empírica para juzgar la susceptibilidad al deslizamiento, y con ello la amenaza de deslizamiento en una ladera; es una versión modificada y ampliada propuesta por Mendoza en base a las calificaciones propuestas por Suárez (1998). Los valores que aquí se incluyen son meramente indicativos y deberán revisarse caso a caso, ajustándolos dentro de un contexto regional. Se califica así el grado de influencia relativa que los factores citados tienen en la ocurrencia de un deslizamiento, y podrán adoptarse valores intermedios a los señalados. Es claro que la asignación de valores a cada rubro requiere el concurso preferentemente de un ingeniero civil con especialidad en geotecnia.

Tabla 2.8 Estimación de Atributos Topográficos, geotécnicos y ambientales

FACTORES TOPOGRAFICOS E HISTORICOS				
Factor	Intervalo o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificacion
inclinacion de taludes	Mas de 45°	2.00	Estimar el valor medio	
	35° a 45°	1.80		
	25° a 35°	1.40		
	15° a 25°	1.00		
	menos de 15°	0.50		
Altura	Menos de 50m	0.60	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada.	
	50 a 100m	1.20		
	100 a 200m	1.60		
	Mas de 200m	2.00		
Antecedentes de deslizamientos en la zona	No se sabe	0.30	Reseñas de los lugareños	
	Algunos someros	0.40		
	Si. Incluso con fechas	0.60		
FACTORES GEOMORFOLOGICOS Y AMBIENTALES				
Factor	Intervalo o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificacion
Evidencias geomorfológicas de huecos en laderas contiguas	Inexistentes	0.00	Formas de conchas o de embudo(flujos)	
	moderados	0.50		
	grandes volumenes faltantes	1.00		
Vegetacion y uso de la tierra	Zona urbana	2.00	Considerese no solo la ladera, sino tambien la plataforma en la cima	
	cultivos anuales	1.50		
	Vegetacion intensa	0.00		
	Vegetacion moderada	0.80		
Regimen del agua en la ladera	Area deforestada	2.00	Detectal posibles emanaciones en el talud	
	Nivel freatico superficial	1.00		
	Nivel freatico inexistente	0.00		
	zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.00		
			SUMATORIA:	

Fuente: Manuel Mendoza-Leobardo Domínguez "Estimación de la amenaza y el riesgo de deslizamientos en laderas"

Tabla 2.8 (Continuacion...) Estimación de Atributos Topográficos, geotécnicos y ambientales.

FACTORES GEOTECNICOS					
Factor	Intervalo o categorías		Atributo relativo	Observaciones	Calificacion
Tipos de Suelos o Rocas	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorcion de agua. Formaciones poco consolidadas.		1.5 a 2.5	Vulnerables a la erosion. O suelos de consistencia blanda	
	Rocas metamorficas(luititas, pizarras y esquistos)de poco a muy intemperizadas		1.2 a 2.0		
	Suelos arcillos consistentes o arena limosos compactos		0.5 a 1.0	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias(areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes.		0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5 según el grado de	
	Rocas igneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)		0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según el grado de meteorizacion	
	Espesor de la capa de suelo		menos de 5m	0.50	Revisense cortes y cañadas; o bien recurrase a exploracion manual
		5 a 10 m	1.00		
		10 a 15m	1.40		
		15 a 20 m	1.80		
Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	menos de 15°	0.3	Considerense planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	
		25 a 35°	0.6		
		mas de 45°	0.9		
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinacion del talud	Mas de 10°	0.3	Angulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinacion del talud. Ver figura 5.9	
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
		Mas de -10°	1		
	Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la direccion del talud	Mas de 30°	0.2	Considerar la direccion de las discontinuidades mas representativas	
		10° a 20°	0.3		
Menos de 5°		0.5			
				SUMATORIA:	

Fuente: Manuel Mendoza-Leobardo Domínguez. "Estimación de la amenaza y el riesgo de deslizamientos en laderas"

2.7.2 ESTIMACIÓN DEL GRADO DE AMENAZA

Calificados los diferentes factores que influyen en la estabilidad de una ladera, podrá hacerse su sumatoria, a fin de estimar el grado de la amenaza de deslizamiento que

pudiese adjudicársele a una ladera. En la tabla 2.9 se distinguen cinco grados de esa amenaza, desde la muy baja hasta la muy alta.

Tabla 2.9. Estimación del grado de amenaza

Grado	Descripción	Suma de las calificaciones
5	Amenaza muy alta	Más de 10
4	Amenaza alta	8.5 a 10
3	Amenaza moderada	7 a 8.5
2	Amenaza baja	5 a 7
1	Amenaza muy baja	Menos de 5

Fuente: Manuel Mendoza-Leobardo Domínguez
 “Estimación de la amenaza y el riesgo de deslizamientos en laderas”

2.10 ESCOGENCIA DEL FACTOR DE SEGURIDAD

Escoger el factor de seguridad, o la seguridad global del talud, es una decisión muy importante; existen varios criterios y recomendaciones, los que pueden ser tomados en cuenta a la hora de tomar una decisión.

En función al riesgo de pérdidas humanas y económicas, Díaz, propone en la tabla 2.10 los factores de seguridad mínimos.

Tabla 2.10 Criterios para seleccionar un factor de seguridad para diseño de taludes

Caso	Factor de Seguridad
Si puede ocurrir la pérdida de vidas humanas al fallar el talud	1.7
Si la falla puede producir la pérdida de más del 30% de la inversión de la obra específica o pérdidas consideradas importantes	1.5
Si se pueden producir pérdidas económicas no muy importantes	1.3
Si la falla del talud no causa daños	1.2

Fuente: Jaime S. Díaz “Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales”

Terzaghi y Peck, define los rangos de valores mínimos que se deben adoptar en función del mecanismo de rotura y del tipo de obra que se considere, esto se muestra en la tabla 2.11

Tabla 2.11 Terzaghi y Peck factores de seguridad mínimos

Tipo de rotura	Tipo de problema	Factor de Seguridad
Corte	Trabajos de Tierra	1.3 a 1.5
	Estructuras de Tierra	1.5 a 2
	Cimentaciones	2 a 3
Filtraciones	Levantamientos	1.5 a 2.5
	Erosion interna, salida del gradiente	3 a 5

Fuente: Manual de Ingeniería de Taludes Publicación del Instituto Geológico y Minero de España.

Tomando en cuenta las fuerzas que se consideren en el cálculo del factor de seguridad, se puede usar la siguiente norma técnica, donde, F_g son las fuerzas de gravedad, F_f las fuerzas por filtración y F_s la fuerza por sismo.

Tabla 2.12 Factor de seguridad considerando las combinación de fuerzas actuantes

Condicion	Combinacion de fuerzas	FS
1	F_g	1.4
2	$F_g+F_f+F_s$	1.1

Fuente: "Norma Técnica para diseño de cimentaciones y Estabilidad de taludes R. El Salvador (1994)"

Para nuestro proyecto, el factor de seguridad escogido es de 1.4, ya que considera las recomendaciones anteriormente mencionadas, tales como que se pueden producir pérdidas económicas no muy importantes y no se consideran los esfuerzos producidos por la acción sísmica.

CAPITULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1 UBICACIÓN

La aplicación se ubica en la provincia cercado, específicamente en el tramo vial que une las comunidades de toloiosa centro con toloiosa sud, este tramo fue elegido de acuerdo al alcance del presente trabajo y se encuentra ubicado al sureste de la capital del departamento; el tramo comienza en las coordenadas UTM –GWS84 7611252 N y 317021 E, teniendo una altura promedio de 1824 msnm.



Fig. 3.1 Ubicación en el departamento



Fig. 3.2 Imagen satelital del tramo en estudio

3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA

En general el valle central del Tarija se encuentra formado por un manto de sedimentos fluvio – lacustres del sistema cuaternario, depositados horizontalmente, las columnas estratigráficas investigadas por Tanaka & Yoshida (1982), Mac-Fadden et al.(1983), determinan que los sedimentos depositados en la cuenca cuaternaria del Valle de Tarija, se encuentran principalmente constituidos de arcillas y arcillas limosas, los estudios de Mac Fadden, determinaron un paquete de 90 m de espesor, considerándose como el máximo espesor de los sedimentos de la cuenca de Tarija.

En la zona circundante al tramo de estudio, se evidencia una morfología erosionada, y con drenaje extremadamente fina, no se evidencia la presencia de un manto detrítico, lo que facilita la acción erosiva del agua.

Los taludes de corte, conformados para la construcción del camino asfaltado, en su mayoría fueron ejecutados en estos sedimentos del sistema cuaternario, conformados principalmente por arcillas limosas de aspecto macizo, presentando una coloración marrón amarillenta, las mesetas fuertemente disectadas de la zona presentan vegetación moderada, tales como arbustos espinosos y paja, brindando esta cobertura una protección contra la acción erosiva de las aguas, la erosión brinda a la zona su aspecto particular de cárcavas y columnas.

3.2.1 GEOLOGÍA

Los estudios realizados en el valle central de Tarija fueron emprendidos principalmente por la presencia de fósiles que se encuentran enterrados en los sedimentos del sistema cuaternario; aunque es general nos proporciona un panorama más claro del subsuelo del tramo de estudio.

Los estudios realizados en el valle por investigadores anteriormente mencionados, sientan las bases geológicas para identificar dos formaciones bien caracterizadas, las cuales son la formación Santa Ana para la base y la formación San Lorenzo para la parte superior.

Formación Santa Ana

Se caracteriza por presentar depósitos estrictamente fluvio – lacustres de borde de cuenca. En la base presenta gravas conformadas por clastos de cuarcitas muy duras, en una matriz arcillosa de coloración rojiza; mientras que en la parte superior es de carácter arcillo – limoso de coloración gris amarillenta a rojiza y estructura columnar.

Su morfología de badlands, textura de drenaje extremadamente fina, y tono moteado; fuertemente disectada por un diseño dendrítico. Por su disposición casi horizontal, no forma ninguna estructura, sino más bien, una meseta fuertemente disectada. Por su estado fuerte de deterioro, a esta formación se la considera de alta vulnerabilidad

ecológica y es la formación que realiza el mayor aporte de sedimentos al lecho de los principales cursos de agua de la región.

Formación San Lorenzo

Se denomina formación San Lorenzo, a los depósitos de gravas fluviales que descansan directamente sobre las acumulaciones fluvio – lacustres de la formación Santa Ana, teniendo como horizonte guía de diferenciación, entre una y otra, cenizas de origen volcánico.

Morfológicamente se tipifica por presentar relieve de tipo mesiforme: bajo plano a ligeramente inclinado hacia el curso principal del río Guadalquivir. Disección baja.

Litológicamente está constituida por un espeso paquete de gravas fluviales, depositado en un ambiente epicontinental, cuyo espesor fluctúa entre tres a diez metros de espesor, conformado por clastos de cuarcitas muy duras y subredondeadas, mezcladas en una matriz arenosa de coloración rojiza, conformando suelos profundos de alta pedregosidad, tanto en sentido vertical como horizontal.

Por las particularidades de bajo relieve, valores mínimos de gradientes y la protección que brindan los clastos de cuarcitas al suelo, se considera esta formación como de sensibilidad baja a los procesos de erosión.

3.2.2 EROSIÓN

Como ya se mencionó anteriormente, la zona se encuentra afectada por el fenómeno erosivo, fenómeno causado por agentes naturales y humanos, entre los agentes naturales podemos observar en la zona las aguas de escorrentía y el viento.

El agente humano se refiere a los cortes efectuados para construir la carretera, quitando la cobertura vegetal, la cual ayuda a fijar el suelo y mejorar la estabilidad del talud.

Este fenómeno propio de suelos aluviales (fluviales-lacustres), especialmente los compuestos por limo y arenas finas principalmente, ocasiona un deterioro del talud, provocando un lavado superficial con transporte y depositación al pie del talud de partículas y pequeñas masas de suelo.

La erosión se presenta en algunos taludes más que en otros, presentándose erosión en surcos y también en cárcavas, que es proceso más avanzado de erosión. Es identificable en algunos taludes que la erosión es distinta en los estratos de suelo que forman el talud, lo que demuestra que existen estratos de suelo más competentes que otros, esta erosión diferenciada también puede producir pérdida del soporte del estrato más competente, produciendo desprendimientos de pequeñas masas de suelo, los que caen hasta el pie del talud.



Foto 3.1 Presencia del fenómeno erosivo en los taludes del tramo en estudio

3.2.3 SISMICIDAD

La actividad sísmica en la región es muy baja, lo mismo en el entorno de la ciudad donde casi ni existe vivencia de sismos, excepto el de alguno que otro temblor muy espaciado que no hace secuencia en el recuerdo.

Cabe mencionar que el factor de seguridad escogido toma en cuenta la no consideración del efecto sísmico en la evaluación de la estabilidad de los taludes del tramo.

De acuerdo a bibliografía, el factor sísmico de mayor incidencia en los movimientos de los taludes es la intensidad de la sacudida, a partir de 6.5 (Escala de Mercalli), y en menor medida su duración.

3.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

En el tramo de estudio, se realizó la recolección de muestras de suelo, para realizar una identificación y clasificación, desde el punto de vista de la mecánica de suelos.

Los muestreos se realizaron en tres lugares, es decir en el inicio del tramo, en la parte media y en la parte final; las características particulares de la zona muestra que se trata del mismo tipo de suelo fino, arcilloso principalmente, presentando asimismo limos arcillosos y lentes de arena fina de coloración amarillenta. No se aprecia en la zona suelos gravosos que sean de apreciable significación especialmente en la conformación de los taludes del tramo de estudio.

Se obtuvieron probetas cilíndricas inalteradas de los taludes de corte del tramo de estudio, para realizar el ensayo de compresión simple.

3.3.1 GRANULOMETRÍA DE FINOS Y GRUESOS

El ensayo granulométrico, se realizo utilizando la serie de tamices estandarizados que pertenecen al laboratorio de la Universidad.

Previamente la muestra de suelo fue preparada, pues se trata de suelo cohesivo duro de acuerdo a la identificación visual.

Los resultados del ensayo de análisis granulométrico mediante tamizado, nos muestra que se trata de suelo Fino, pues el 95.1% pasa el tamiz N°200, de acuerdo al sistema unificado y de material limo arcilloso de acuerdo a la clasificación AASHTO.

El ensayo hidrométrico, nos muestra que la cantidad de partículas menores a 0.075mm y mayores a 0.002mm es del 89.89%, las que por su tamaño, pueden clasificarse como limo; y la cantidad de partículas menores a 0.002mm es de 5.21%, estas pueden clasificarse como arcilla.

3.3.2 LIMITES DE ATTEBERG

Los ensayos de consistencia, se realizaron con la ayuda del equipo técnico del laboratorio de Suelos de nuestra Universidad.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

LL= 30

LP= 24

IP= LL – LP = 6

3.3.3 PESO ESPECÍFICO

El resultado del ensayo de laboratorio, nos revela que la densidad de los sólidos de la muestra es de 2.67

3.3.4 RESISTENCIA AL CORTE DEL SUELO

Para obtener los parámetros de resistencia, se utilizaron los medios disponibles en el laboratorio de Suelos de nuestra Universidad.

Se tomaron muestras de suelo, representativas del tramo, las mismas que fueron sometidas a un proceso de tallado utilizando para el mismo medios manuales.

Las probetas fueron conformadas con forma cilíndrica, tal como las probetas utilizadas para determinar la resistencia del hormigón a diferentes edades, la relación altura / diámetro es de 2 a 1, de acuerdo a lo requerido para probetas de suelo.

Las fotografías, muestran las probetas cilíndricas antes de proceder a realizar el ensayo de compresión simple.



Foto 3.2 Pesado de probetas de suelo

Estas probetas, fueron sometidas a una prueba de compresión simple, utilizando para tal propósito la prensa para ensayar probetas de hormigón y la prensa CBR.

En las fotografías se observa las prensas utilizadas para ejecutar el ensayo de compresión simple.



Foto 3.3 Prensas utilizadas para realizar el ensayo de compresión simple

En la tabla 3.1 se muestran el resumen de los resultados de los ensayos

Tabla 3.1 Resumen de resultados del ensayo de compresión simple

Probeta Nº	Diametro (cm)	Altura (cm)	Carga de rotura (Kg)
1	8.00	16.00	971.03
2	10.50	20.80	1433.08
3	11.50	21.50	1815.33
4	15.00	30.00	803.76
5	15.00	30.00	805.80
6	15.00	30.00	809.88

Fuente: Elaboración propia

Las probetas son representativas de los taludes de corte que se encuentran dentro del tramo en estudio, siendo las probetas 4,5 y 6 pertenecientes al talud de mayor altura.

3.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS TALUDES DE ESTUDIO

En el tramo se identificaron los siguientes taludes de corte:

Talud N°1



Foto 3.4 Talud N°1

Este talud se encuentra ubicado entre las progresivas 0+938.93 y 1+010.43, tiene las siguientes características geométricas:

Altura máxima = 6.38m (prog. 0+958.93)

Angulo de inclinación= 79°4'24"

Longitud de corte= 71.50m

Las características geomorfológicas que presenta el talud, son las siguientes:

- ✓ Huecos en la cara del talud, producto de la acción erosiva de las aguas de lluvia y la falta de cobertura vegetal.
- ✓ En la plataforma o la cima del talud, se evidencia vegetación moderada con especies nativas propias del valle central, tales como churquis y paja.
- ✓ No se evidencia la presencia de nivel freático.

Las características geotécnicas del talud, de acuerdo a los estudios geológicos y de los ensayos de laboratorio, se puede mencionar lo siguiente:

- ✓ Suelo fino, limo arcilloso o arcilla limosa.
- ✓ Presencia de un manto detrítico somero.
- ✓ Suelo de origen fluvio - lacustre.
- ✓ Siendo el espesor del material mayor a los 20m.

El proceso erosivo de la cara del talud, ocasiona desprendimientos de bloques de suelo de pequeños volúmenes, evidenciándose el deterioro del talud con características indicadas en la formación Santa Ana.

Talud N°2



Foto 3.5 Talud N°2

Este talud se encuentra ubicado entre las progresivas 1+413.77 y 1+462.77, tiene las siguientes características geométricas:

Altura máxima = 6.91m (prog. 1+433.77)

Angulo de inclinación= 80°38'23"

Longitud de corte= 49.00m

Las características geomorfológicas que presenta el talud, son las siguientes:

- ✓ Huecos en la cara del talud, producto de la acción erosiva de las aguas de lluvia y la falta de cobertura vegetal.
- ✓ La vegetación es menor en la cima del talud, con presencia de vegetación dispersa y menor cobertura de la base.
- ✓ No se evidencia la presencia de nivel freático.

Las características geotécnicas del talud son iguales a las del primer talud, con la diferencia de que no existe el manto detrítico observado en el primero.

De igual forma que en el primer talud, se evidencia un proceso de deterioro debido a la acción erosiva de las aguas, observándose la presencia de bloques de suelo en el pie del talud.

Talud N° 3



Foto 3.6 Talud N° 3

Este talud o ladera se encuentra ubicado entre las progresivas 1+922.84 y 1+952.84, tiene las siguientes características geométricas:

Altura máxima = 4.92m (prog. 1+932.84)

Angulo de inclinación promedio= 79°51'23"

Longitud de corte= 30.0m

Las características geomorfológicas que presenta el talud, son las siguientes:

- ✓ Presenta una vegetación moderada, teniendo en la cima una buena cobertura de paja y arbustos espinosos de mediano tamaño.
- ✓ No se evidencia la presencia de nivel freático.

Se evidencia en este talud un fuerte deterioro de la cara del mismo, evidenciándose material fino y bloques de suelo al pie del talud. Al encontrarse alejado de la carpeta de rodadura del tramo, no perjudica el mismo ni es peligro para los usuarios de esta vía.

Talud N° 4



Foto 3.7 Talud N° 4

Este talud se encuentra ubicado entre las progresivas 2+352.98 y 2+422.98, tiene las siguientes características geométricas:

Altura máxima = 7.50 metros (prog.2+392.98)

Angulo de inclinación= 72°48'51"

Longitud de corte= 70.0m

Las características geomorfológicas que presenta el talud, son las siguientes:

- ✓ Presenta escasa vegetación, tanto de arbustos como de paja.
- ✓ No se evidencia la presencia de nivel freático.
- ✓ Presenta arbustos en la cara del talud (muy dispersos).

Si bien la cara del talud presenta erosión debido al agua, el deterioro es menor, no presentado cárcavas o huecos que van desde la cima del talud hasta el pie del mismo como en los anteriores taludes.

Talud N° 5



Foto 3.8 Talud N° 5

Este talud se encuentra ubicado entre las progresivas 2+567.84 y 2+767.84, tiene las siguientes características geométricas:

Altura máxima = 12.95m (prog. 2+627.84)

Angulo de inclinación= 67°39'34"

Longitud de corte= 200.0m

Las características geomorfológicas que presenta el talud, son las siguientes:

- ✓ Presenta vegetación dispersa en la cabeza, formada por pasto como cobertura del suelo y arboles medianos
- ✓ Presenta vegetación nativa dispersa en la cara del talud.
- ✓ No se evidencia la presencia de nivel freático.

- ✓ Se evidencia un hueco importante en el talud, formado por la presencia de un curso de torrentera colgado; evacuando sus aguas a la cara del talud.

Este talud presenta en la cabeza vegetación dispersa, constituida por pasto en la cobertura del suelo y por arboles dispersos, la cara del mismo presenta vegetación dispersa. Se observa drenaje natural que baja por la cara del talud, por lo que en el pie del talud, se construyeron cunetas revestidas que favorecen el drenaje y evitan la socavación del pie del talud, asimismo se observan alcantarillas de alivio para drenar las aguas de las cunetas como de los cursos de torrentera.

A pesar de la evidencia del drenaje natural en la cara del talud, no se observa la presencia de niveles freáticos colgados o que afloren en la cara del mismo.

Es el talud más importante en el tramo, ya que sus dimensiones geométricas lo hacen más peligroso para los usuarios de la vía.

Talud N°6



Foto 3.9 Talud N° 6

Este talud se encuentra ubicado entre las progresivas 2+941.68 y 3+001.68, tiene las siguientes características geométricas:

Altura máxima = 6.59m (prog. 2+961.68)

Angulo de inclinación= $70^{\circ}20'46''$

Longitud de corte= 60.00m

Las características geomorfológicas que presenta el talud, son las siguientes:

- ✓ Presenta vegetación apreciable en la cabeza, formada por pasto como cobertura del suelo y arboles medianos.
- ✓ No presenta vegetación en la cara del talud.

- ✓ No se evidencia la presencia de nivel freático.
- ✓ Se evidencian huecos, cárcavas y desprendimientos de bloques y masas de suelo, los que yacen en el pie del talud.

Este talud, presenta cobertura vegetal en la cabeza pero en la cara del mismo no, hecho que favorece la erosión, observándose en el mismo una mayor presencia de suelos finos con menor cantidad de arcilla.

Talud N°7

Ubicado al final del tramo de estudio en la progresiva 4+900, se encuentra fuera del alcance del presente estudio, ya que se observa afloramiento rocoso, material denominado comúnmente como laja, de color rojizo y apariencia estratificada.

3.5 EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD

Para evaluar la estabilidad de los taludes de corte que integran el tramo, se cuantifico el valor del factor de seguridad de los taludes actuales.

Para cuantificar el factor de seguridad, se utilizaron los ábacos propuestos por Taylor, para este método se supone el material homogéneo.

Los parámetros del suelo utilizados para el cálculo del factor de seguridad, se resumen en la tabla 3.2

Tabla 3.2 parámetros resistentes del suelo

Talud	Cohesion Cu	Angulo friccion	Peso especifico
	(Kg/cm2)	ϕ°	γ (tn/m2)
1	1.00	25	1.84
2	1.00	25	1.84
3	1.00	25	1.84
4	1.00	25	1.68
5	1.00	25	1.73
6	1.00	25	1.98

Fuente: Elaboración propia

3.5.1 Estabilidad a corto plazo (condición no drenada $\phi=0$)

Las arcillas blandas y los limos fallan en condiciones no drenadas porque el exceso de presión de poros es positivo y por tanto la condición crítica es a corto plazo pues a medida que las arcillas disipan el exceso de presión de poros, las mismas se consolidan y ganan resistencia.

Bajo la condición no drenada con el ángulo de fricción $\phi=0$, el factor de seguridad, utilizando los ábacos de Taylor se calcula con la siguiente ecuación:

$$FS = \frac{c \cdot N_s}{\gamma \cdot H}$$

Donde:

C=Cu= cohesión no drenada (tn/m2)

γ = peso específico (tn/m3)

H= altura del talud (m)

Ns= Coeficiente de estabilidad

En la tabla 3.3 se muestra un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 3.3
Resumen de resultados condición no drenada ($\phi=0$)

Talud	Altura H(m)	Ang. ψ°	Peso $\gamma(\text{Tn}/\text{m}^3)$	Cohesion Cu (tn/m ²)	Ns	Hc (m)	F.S.
1	6.38	79.07	1.84	10.00	4.35	23.64	3.71
2	6.91	80.64	1.84	10.00	4.10	22.28	3.22
3	4.92	79.86	1.84	10.00	4.30	23.37	4.75
4	7.50	72.81	1.68	10.00	4.62	27.50	3.67
5	12.95	67.66	1.73	10.00	4.90	28.32	2.19
6	6.59	70.35	1.98	10.00	4.70	23.74	3.60

Fuente: Elaboración propia

Siendo Hc, la altura crítica del talud, para el cual el factor de seguridad FS=1, en los resultados se observan los factores de seguridad de los taludes de corte que integran el tramo en estudio.

3.6 ANÁLISIS DE LOS TALUDES ACTUALES

Los taludes de corte de corte que forman parte del tramo en estudio, fueron ejecutados en los sedimentos del sistema cuaternario, de acuerdo a estudios geológicos realizados en el valle de Tarija.

Se pueden observar suelos cohesivos en su mayoría arcillosos-limosos, de acuerdo a los resultados de laboratorio, limos arcillosos poco plásticos.

La evaluación de la estabilidad de los taludes que componen el tramo, presenta factores de seguridad altos y conservadores, siendo el talud N°5 el de menor factor de seguridad, pero su altura crítica es de 28m, aproximadamente el doble de la altura actual del talud.

Lo que se puede observar en los taludes que componen el tramo es el deterioro de los mismos por la erosión, produciéndose en los mismos surcos, cárcavas y desprendimientos de bloques de suelo.

El material producto de la erosión, es depositado en el pie de los taludes, obstruyendo en algunas partes, las cunetas de drenaje pluvial.

3.7 EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD (TALUD ÓPTIMO)

Escogido el valor del factor de seguridad, el talud óptimo será aquel que con sus valores geométricos y de resistencia, presente un factor de seguridad aproximado al valor escogido.

En este caso en los taludes actuales, no se puede modificar su altura, pues sería necesario modificar la rasante del camino, lo que resultaría antieconómico pues los resultados indican que los taludes presentan valores altos, los que garantizan la estabilidad contra posibles deslizamientos.

El valor que se podría cambiar a fin de realizar un análisis de costos, sería el ángulo del talud, para lo que el cálculo se realiza dando a los mismos el máximo ángulo de inclinación.

Si el ángulo de los taludes de corte que componen el tramo es de 90° , la evaluación de estabilidad de los mismos utilizando los ábacos de Taylor y suponiendo que el suelo es homogéneo y bajo la condición no drenada o estabilidad a corto plazo $\phi=0$; los resultados se muestran en la tabla 3.4

Tabla 3.4
Estabilidad del tramo para $\psi=90^\circ$

Talud	Altura H(m)	Ang. ψ°	Peso $\gamma(\text{Tn/m}^3)$	Cohesion Cu (tn/m ²)	Ns	Hc (m)	F.S.
1	6.38	90.00	1.84	10.00	3.83	20.82	3.26
2	6.91	90.00	1.84	10.00	3.83	20.82	3.01
3	4.92	90.00	1.84	10.00	3.83	20.82	4.23
4	7.50	90.00	1.68	10.00	3.83	22.80	3.04
5	12.95	90.00	1.73	10.00	3.83	22.14	1.71
6	6.59	90.00	1.98	10.00	3.83	19.34	2.94

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, para el ángulo máximo de inclinación de los taludes que componen el tramo, los factores de seguridad son mayores al valor escogido como factor de seguridad.

3.8 ZONIFICACIÓN DE LOS TALUDES DEL TRAMO

Para realizar la zonificación del tramo, se requiere, aparte de determinar la estabilidad de los taludes de corte que componen el tramo; es identificar sus características topográficas, históricas, geomorfológicas, ambientales y geotécnicas, de acuerdo con las tablas 2.8 y 2.9 del apartado 2.7.

Los resultados se muestran en anexos determinando de manera estimada el grado de amenaza a deslizamientos de los diferentes taludes que integran el tramo.

En la tabla 3.5 se muestra un resumen de los grados de amenaza y factor de seguridad de cada talud.

Tabla 3.5
Grado de amenaza a deslizamientos del tramo en estudio

Talud Nº	Grado	F.S.	Descripcion
1	6.75	3.71	Amenaza baja
2	6.75	3.22	Amenaza baja
3	6.75	4.75	Amenaza baja
4	6.25	3.67	Amenaza baja
5	6.25	2.19	Amenaza baja
6	6.75	3.60	Amenaza baja

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados, podemos definir que los taludes de corte que integran el tramo en estudio, presentan una amenaza baja a deslizamientos y son estables de acuerdo al factor de seguridad evaluado. Entonces el tramo es estable y no presenta una amenaza alta a deslizamientos, tomando en cuenta sus características actuales.

CAPITULO IV

ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1 ANÁLISIS UNITARIO DE COSTOS

4.1.1 ÍTEM.: MOVIMIENTO DE TIERRA

Definición.-

Este ítem se refiere a la ejecución de todos los trabajos correspondientes a movimiento de tierras con cortes, nivelación y perfilados de taludes, manualmente o con maquinaria y en diferentes tipos de suelos.

Materiales, herramienta y equipo.-

El Contratista deberá proporcionar todas las herramientas, equipo y maquinaria adecuada y necesaria para la ejecución de los trabajos y de acuerdo a su propuesta.

Clasificación de Suelos.-

Para los fines de cálculo de costos y de acuerdo a la naturaleza y características del suelo a excavar, se establece la siguiente clasificación:

Suelo Clase I (blando)

Suelos compuestos por materiales sueltos como humus, tierra vegetal, arena suelta y de fácil remoción con pala y poco uso de picota.

Suelo Clase II (semiduro)

Suelos compuestos por materiales como arcilla compacta, arena o grava, roca suelta, conglomerados y en realidad cualquier terreno que requiera previamente un ablandamiento con ayuda de pala y picota.

Suelo Clase III (duro)

Suelos que requieren para su excavación un ablandamiento más riguroso con herramientas especiales como barretas.

El tipo de terreno que corresponde a los taludes que integran el tramo es clase II semiduro.

Procedimiento de ejecución.-

El Contratista elegirá las herramientas y/o maquinaria según sea el caso, debiendo someter a la aprobación del Supervisor de Obra la calidad y cantidad del equipo a emplearse.

A medida que se vaya realizando el movimiento de tierras, el Contratista estará obligado a revisar constantemente los niveles del terreno, con la finalidad de obtener el perfil requerido de acuerdo a planos y/o instrucciones del Supervisor de Obra.

En el caso que se excaven volúmenes mayores por error en la determinación de cotas o cualquier otro motivo, el Contratista deberá realizar el relleno correspondiente por su cuenta y riesgo, dejando el terreno en las mismas condiciones originales.

Se resguardan las estructuras que se hallen próximas al lugar de trabajo y tomara las medidas más aconsejables para mantener en forma ininterrumpida los servicios

existentes, se evitara obstrucciones e incomodidades al tránsito vehicular y peatonal.

4.1.2 CÓMPUTOS MÉTRICOS

COMPUTOS METRICOS

TALUD N°1						
PROG.	AREAS (M2)		VOLUMENES(M3)		VOLUMEN ACUMULADO	
	CORTE	RELLENO	CORTES	RELLENO	CORTE	RELLENO
0+938.93	1.955		58.840		58.840	
0+958.93	3.929		63.420		122.260	
0+978.93	2.413		38.070		160.330	
0+998.93	1.394		13.386		173.716	
1+010.43	0.934					
TALUD N°2						
PROG.	AREAS (M2)		VOLUMENES(M3)		VOLUMEN ACUMULADO	
	CORTE	RELLENO	CORTES	RELLENO	CORTE	RELLENO
1+413.77	0.897		48.320		48.320	
1+433.77	3.935		55.525		103.845	
1+453.57	1.6175		11.571		115.416	
1+462.77	0.898					
TALUD N°3						
PROG.	AREAS (M2)		VOLUMENES(M3)		VOLUMEN ACUMULADO	
	CORTE	RELLENO	CORTES	RELLENO	CORTE	RELLENO
1+922.84	1.280		19.600		19.600	
1+932.84	2.640		23.465		43.065	
1+942.84	2.053		16.665		59.730	
1+952.84	1.280					
TALUD N°4						
PROG.	AREAS (M2)		VOLUMENES(M3)		VOLUMEN ACUMULADO	
	CORTE	RELLENO	CORTES	RELLENO	CORTE	RELLENO
2+352.98	0.619		51.416		51.416	
2+372.98	4.523		62.775		114.191	
2+382.98	8.032		93.125		207.316	
2+392.98	10.593		88.285		295.601	
2+402.98	7.064		55.810		351.411	
2+412.98	4.098		32.280		383.691	
2+422.98	2.358					
TALUD N°5						
PROG.	AREAS (M2)		VOLUMENES(M3)		VOLUMEN ACUMULADO	
	CORTE	RELLENO	CORTES	RELLENO	CORTE	RELLENO
2+567.84	1.441		26.665		26.665	
2+577.84	3.892		54.615		81.280	
2+587.84	7.031		87.095		168.375	
2+597.84	10.388		116.580		284.955	
2+607.84	12.928		162.830		447.785	
2+617.84	19.638		288.300		736.085	
2+627.84	38.022		380.220		1116.305	
2+637.84	38.022		380.220		1496.525	
2+647.84	38.022		343.797		1840.322	

TALUD N°5						
PROG.	AREAS (M2)		VOLUMENES(M3)		VOLUMEN ACUMULADO	
	CORTE	RELLENO	CORTES	RELLENO	CORTE	RELLENO
2+657.84	30.737		302.692		2143.014	
2+667.84	29.801		275.816		2418.830	
2+677.84	25.362		215.402		2634.232	
2+687.84	17.718		164.197		2798.429	
2+697.84	15.121		133.345		2931.774	
2+707.84	11.548		97.891		3029.665	
2+717.84	8.030		77.404		3107.068	
2+727.84	7.450		64.669		3171.737	
2+737.84	5.483		45.564		3217.301	
2+747.84	3.630		26.676		3243.976	
2+757.84	1.706		17.056		3261.032	
2+767.84	1.706					
TALUD N°6						
PROG.	AREAS (M2)		VOLUMENES(M3)		VOLUMEN ACUMULADO	
	CORTE	RELLENO	CORTES	RELLENO	CORTE	RELLENO
2+941.68	4.833		137.160		137.160	
2+961.68	8.883		164.398		301.558	
2+981.68	7.557		131.491		433.049	
3+001.68	5.592					

VOL. DE CORTE TOTAL DEL TRAMO:	4,311.218	M3
---------------------------------------	-----------	----

4.1.3 PRECIO UNITARIO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Actividad : MOVIMIENTO DE TIERRA

Unidad : M3

Moneda: Bolivianos

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	COSTO PARCIAL (Bs)
1.- MATERIALES				
1.1.				0.00
1.2.				0.00
1.3.				
1.4.				
1.5.				
1.6.				
1.7.				
1.8.				
TOTAL MATERIALES				0.00
2.- MANO DE OBRA				
2.1. OPERADOR	HR	0.02	10.00	0.20
2.2. AYUDANTE OPERADOR	HR	0.02	7.50	0.15
2.3. CHOFER	HR	0.10	9.00	0.90
2.4.				
2.5.				
2.6.				
2.7.				
2.8.				
SUB TOTAL MANO DE OBRA				1.25
CARGAS SOCIALES-% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA		55,00%		0.69
IMPUESTO IVA MANO DE OBRA-(% DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)		14,94%		0.29
SUBTOTAL CARGAS SOCIALES E IMPUESTOS				0.98
TOTAL MANO DE OBRA				2.23
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
3.1. TRACTOR	HR	0.015	330.00	4.95
3.2. PALA CARGADORA	HR	0.002	380.00	0.76
3.3. VOLQUETA	HR	0.100	30.00	3.00
3.4.				
3.5.				
3.6.				
3.7.				
3.8.				
HERRAMIENTAS-% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA (5%)				0.11
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				8.82
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES-% DE 1+2+3 (ESTIMADO 10%)				1.10
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				1.10
5.- UTILIDAD				
UTILIDAD -% DE 1+2+3+4 (MINIMO 10%)				1.22
TOTAL UTILIDAD				1.22
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS IT-% DE 1+2+3+4+5 (3,09)				0.41
TOTAL IMPUESTOS				0.41
TOTAL PRECIO UNITARIO 1+2+3+4+5+6				13.78

4.2 COMPARACIÓN DE COSTOS

Se realiza una comparación de costos de movimiento de tierras entre los taludes actuales y el talud mas optimo, que en este caso y de acuerdo a los resultados obtenidos es de 90°; el cual es el ángulo máximo de corte.

En tabla 4.1 se muestra el presupuesto total del movimiento de tierras para el tramo de estudio.

Tabla 4.1
Costo movimiento de Tierras del tramo en estudio

TALUD	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	P.PARCIAL (BS.)
1	MOV. TIERRAS	M3	173.716	13.78	2393.806
2	MOV. TIERRAS	M3	115.416	13.78	1590.432
3	MOV. TIERRAS	M3	59.730	13.78	823.079
4	MOV. TIERRAS	M3	383.691	13.78	5287.262
5	MOV. TIERRAS	M3	3261.032	13.78	44937.021
6	MOV. TIERRAS	M3	433.049	13.78	5967.415

COSTO TOTAL DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS:

60,999.017

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis anterior, podemos ver que el volumen total entre el ángulo actual y el óptimo es de 4'311.218m³, por lo que podemos concluir que se podría haber realizado menos corte, por ende se podría haber economizado un valor de 60'999.017 bolivianos.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Una vez concluido el estudio del tramo, se pueden obtener las siguientes conclusiones.

- De acuerdo a la geología del valle central de Tarija, se puede concluir que los taludes de corte que componen el tramo, tienen el mismo origen, siendo de origen fluvial-lacustre; compuestos principalmente por material fino cohesivo, a saber compuesto por arcilla, limo arcilloso y arcilla limosa; teniendo también presencia en menor proporción de arena fina.
- El proceso de deterioro observado en los taludes de corte, es la erosión hídrica, la cual produce cárcavas siendo en algunos taludes profundos y van desde la base hasta la cima del talud; esta erosión es mayor en los suelos estratificados compuestos por limo y arena con baja proporción de arcilla, esto se nota por los estratos que son erosionados diferencialmente. Esto da lugar a desprendimientos de bloques de suelo, los que son observados al pie de los taludes.
- En los resultados obtenidos mediante los ábacos de Taylor, se noto que las alturas críticas de los taludes de corte, sobrepasan los 20m y la incidencia del ángulo de inclinación del talud en el factor de seguridad es menor en comparación con la altura del mismo. Siendo la altura del talud en este tipo de suelo cohesivo el parámetro más importante.

- Los factores de seguridad obtenidos con el método de los Ábacos de Taylor indican que los taludes son estables presentando valores mayores al factor de seguridad escogido.
- La calificación cualitativa de los factores físicos de los taludes de corte que componen el tramo, indican que el mismo presenta una amenaza baja a moderada al deslizamiento, lo que es corroborado matemáticamente por el método de los ábacos de Taylor, cuyos resultados expresan que los taludes son estables, presentando un factor de seguridad mayor a la unidad.
- Al suponer que los taludes hayan sido cortados y perfilados a 90° , siendo este el talud máximo de corte, los factores de seguridad obtenidos mediante los ábacos de Taylor, también expresan que los taludes son estables; por lo que el análisis económico demuestra que se pudo realizar menor volumen de corte ($V=4'311.218m^3$) economizando 60'999.017 Bs.
- Los resultados de laboratorio para determinar los parámetros de resistencia del suelo, fueron elevados y tomando en cuenta que los resultados de la clasificación de suelos indica que se trata de limo arcilloso de baja plasticidad, el ensayo puede no ser el más indicado para brindarnos los valores de cohesión y ángulo de fricción no drenados.
- También podemos concluir que los resultados del ensayo de compresión simple fueron elevados, debido al tiempo transcurrido desde la toma de las muestras inalteradas hasta el momento del ensayo de compresión simple, pues se nota que el suelo adquiere mayor resistencia a medida que la muestra pierde humedad.

- El tramo en estudio presenta una sola zona, siendo esta estable y de amenaza baja a deslizamiento.

5.2 RECOMENDACIONES

- La vegetación es beneficiosa para mitigar el efecto erosivo en los taludes, por lo que se recomienda la siembra de pasto en la cara del talud, para evitar el deterioro y el derrumbe de pequeñas masas de suelo que obstruyen las cunetas.
- Se recomienda tomar varias muestras de suelo del que está compuesto un talud, esto permitirá definir si el talud puede ser considerado homogéneo u heterogéneo, pues de eso depende la utilización o no de los Ábacos de Taylor.
- Es recomendable obtener las probetas cilíndricas de suelo lo más pronto posible, ya que la pérdida de las condiciones iniciales de humedad inciden en los resultados del ensayo de compresión simple. Se recomienda la utilización de equipos mecánicos.
- En vista que el Valle central de Tarija, según los estudios geológicos está conformado por los sedimentos del cuaternario, los mismos que se observan en el tramo de estudio, es recomendable realizar el ensayo triaxial para obtener valores de la cohesión y el ángulo de fricción más confiables.
- En nuestro medio, específicamente donde se encuentra este tipo de sedimentos cuaternarios, la experiencia local ha construido taludes con inclinaciones mayores a los 60° , en algunos casos se construyen a 90° . Sin haberse presentado problemas de deslizamientos si no el desprendimiento de masas pequeñas de tierra.